

**WISSENSVERARBEITUNG MIT EINEM EXPERTENSYSTEM IM STAHLBAU
GRUNDLAGEN UND PRAKTISCHE ANWENDUNG**

*Doktorarbeit
zur
Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur
der
Abteilung für Bauingenieurwesen
der Ruhr-Universität Bochum*

*von
Ulrich Samberg
Wanne-Eickel*

Bochum 1987



**WISSENSVERARBEITUNG MIT EINEM EXPERTENSYSTEM IM STAHLBAU
GRUNDLAGEN UND PRAKTISCHE ANWENDUNG**

*Doktorarbeit
zur
Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur
der
Abteilung für Bauingenieurwesen
der Ruhr-Universität Bochum*

*von
Ulrich Samberg
Wanne-Eickel*

Bochum 1987

Doktorarbeit eingereicht am : 02.02.1987

Tag der mündlichen Prüfung : 16.07.1987

Berichter:

Prof. Dr.-Ing. K. Roik, Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr.-Ing. W. B. Krätzig, Ruhr-Universität Bochum

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand neben meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Angestellter im Bereich Datentechnik des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr - Universität Bochum.

Sie wurde von der Abteilung für Bauingenieurwesen als Dissertation angenommen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. K. Roik und Herrn Professor Dr.-Ing. G. Pegels für die Anregung, Förderung und die hervorragenden Arbeitsmöglichkeiten. Herrn Professor Dr.-Ing. W. B. Krätzig danke ich herzlich für die Übernahme des Koreferates.

Nicht zuletzt danke ich meiner Frau für ihr Verständnis und ihre Unterstützung.

Meinen Kollegen danke ich für ihre Diskussionsbereitschaft mit der sie zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Bochum im November 1987

Ulrich Samberg

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden allgemeingültige theoretische Methoden zum Entwurf wissensbasierter Anwendungssysteme für die Stahlbaukonstruktion ermittelt und Techniken zur Informationsgewinnung aus einem rechnerinternen Konstruktions-Volumenmodell vorgestellt.

Die ingenieurwissenschaftliche Eignung der entwickelten theoretischen Methoden wurde im Praxisversuch europäischer Stahlbauunternehmen und Ingenieurbüros nachgewiesen.

Es gelingt somit, die zum Konstruieren notwendigen menschlichen Denkvorgänge in Form einer Wissensbasis lückenlos, exakt und reproduzierbar so zu beschreiben, daß Konstruktionsaufgaben von einem CAD-Expertensystem selbständig gelöst werden können.

INHALTSVERZEICHNIS

SEITE

1.	Problemstellung, Grundbegriffe, Grundlagen	6
1.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	6
1.2	Grundbegriffe	7
1.3	Bedingungen für die praktische Anwendung	11
1.4	Hardwaretechnische Grundlagen	13
1.5	Softwaretechnische Grundlagen	15
1.6	Allgemeine theoretische Grundlagen	16
2.	CAD - Konstruktion mit dem Bochumer Expertensystem	21
2.1	Vorgehensweise bei der CAD-Konstruktion mit Unterstützung durch die neu entwickelten Wissensbasen	21
2.2	Bedeutung der Konstruktionsmethoden	25
3.	Strukturierung und Sammlung von Wissen	29
3.1	Strukturierung des Wissens	29
3.2	Varianten-, Anpassungs- und Neukonstruktionen - Beurteilung der Anwendbarkeit von Wissensbasen	31
4.	Entwurfs- und Testmethodik	34
5.	Konzeption und Struktur von Wissensbasen entsprechend den Anforderungen von System- und individuellen Bauten	38

	SEITE
5.1 Spezielle Wissensbasen für Systembauten	38
5.2 Allgemeingültige Wissensbasen für individuelle Bauten	41
5.2.1 Wissensbasen für Anschlüsse mit Normteilen	47
5.2.2 Wissensbasen für Einzelanschlüsse	51
5.2.3 Wissensbasen für Anschlüsse mit Wechselwirkungen der Umgebungskonstruktion	53
5.2.3.1 An Teilen orientierte Konstruktionen	54
5.2.3.2 An Verbindungsmitteln orientierte Konstruktionen	55
5.2.3.3 Mathematische Darstellung der Konstruktions-schritte im Konstruktionsprozeß	59
5.2.3.4 Anwendbarkeit von Entscheidungstabellen	61
5.2.4 Wissensbasis für Mehrfachanschlüsse mit gegenseitiger Beeinflussung	66
6. Errechnen von Geometrieinformationen	72
6.1 Errechnen von Informationen aus Profildaten	72
6.2 Errechnen von Informationen für das Konstruieren aus dem rechnerinternen 3D-Modell	87
6.2.1 Mögliche Datenstrukturen für die Modellanalyse	95
6.2.2 Angewandte globale Datenstrukturen zur Teileverwaltung	96
6.2.3 Angewandte lokale Datenstrukturen zur Teileverarbeitung	98
6.2.4 Analyseverfahren	99

	SEITE
6.2.5 Darstellung der Analysealgorithmen	101
6.2.6 Übergabe der errechneten Informationen an die Wissensbasis	105
6.3 Schlußfolgerung	105
7. Interaktive Kommunikation des Systems mit dem Anwender	106
7.1 Interaktive Eingabe	107
7.2 Interaktive Nachbearbeitung	109
7.3 Struktur der Wissensbasis zur Interaktivsteuerung	110
8. Methodenbankbeispiel : Verbandskonstruktionen	113
8.1 Grundlagen	113
8.2 Systemaufbau der Verbandsmethoden	118
8.3 Methodenoptimierung bei Wiederholelementen	125
9. CAD-Eignung der Konstruktion	126
10. Zusammenfassung und Ausblick	133
BILDVERZEICHNIS	134
LITERATURVERZEICHNIS	140

1. PROBLEMSTELLUNG, GRUNDBEGRIFFE, GRUNDLAGEN

1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die deutschen Bauunternehmen besonders des Stahlbaus stehen vor einer großen Herausforderung. Hat sich die Leistung der Werkstätten in den letzten Jahren durch Einsatz modernster Anlagen bereits stark gesteigert, ist im Gegensatz dazu die Leistung der Konstruktionsbüros weitgehend gleich geblieben.

Hohe Qualität bei kurzen Lieferfristen und niedrigen Preisen läßt sich langfristig in Ländern mit hohem Lohnniveau nur durch Anwendung rechnergestützter Konstruktions- und Fertigungsverfahren erreichen. Diese Erkenntnis zwingt auch mittlere und kleine Stahlbauunternehmen und Ingenieurbüros zu hohen Investitionen in Rechneranwendungen /1.1/. Förderungsmaßnahmen des Bundes und der Länder unterstützen dabei die Finanzierung der je nach System mit 150 TDM bis 1000 TDM immer noch hohen Einführungskosten rechnergestützter Konstruktionsverfahren. Probleme bereitet jedoch nicht nur die hohe Kapitalbindung. Besonders langwierige und schwierige firmenspezifische Anpassungsarbeiten traditioneller Systeme fallen den Unternehmen schwer und verhindern die praktische Anwendung zum Teil ganz.

Aufgabe der ingenieurwissenschaftlichen Forschung ist es daher, allgemeingültige theoretische Methoden zum Entwurf von Anwendungssystemen zu erarbeiten und den Anwendern geeignete Basiselemente zur Verfügung zu stellen.

In der vorliegenden Arbeit wird eine derartige Entwurfssystematik für den Stahlbau vorgestellt. Entsprechend dem Stand der Technik wurde für die praktische Überprüfung des Modells ein Expertensystem für die Konstruktion gewählt. Die Hauptaufgabe dabei ist, menschliche Denkpro-

zesse lückenlos, exakt und reproduzierbar zu erfassen und maschinengerecht zu formulieren.

Als Schnittstelle zwischen Anwendung und Programmentwicklung wurden in der Arbeit die Randbedingungen beider Seiten aufeinander abgestimmt und das System soweit notwendig erweitert.

Das in der Arbeit verwandte und erweiterte wissensbasierte Expertensystem wurde in Kooperation zwischen der Ruhr-Universität Bochum und einem Softwarehaus seit 1975 entwickelt. Etwa 150 Mannjahre Forschungs- und Entwicklungsarbeit wurden bisher für das System geleistet. Mehrere Dissertationen /1.2, 1.3, 1.4, 1.5/, auf denen auch diese Arbeit aufbaut, schufen die Grundlagen.

Nahezu 50 Unternehmen des europäischen Stahl- und Holzbaus setzen das System inzwischen ein. Durch die gute internationale Zusammenarbeit der Forschungsgruppe mit diesen Anwendern konnten firmenübergreifend Lösungen entwickelt werden. Das theoretische Konzept und die Ergebnisse auch der vorliegenden Arbeit wurden in praktischer Anwendung bei den unterschiedlichen Entwicklungspartnern vom Ingenieurbüro bis zum Großkonzern in verschiedenen Ländern überprüft.

1.2 Grundbegriffe

Die Begriffe CAD (Computer-Aided-Design), CAM (Computer-Aided-Manufacturing), CAE (Computer-Aided-Engineering) und CIM (Computer-Integrated-Manufacturing) sind nicht zuletzt wegen der sehr tiefgreifenden Einflüsse auf das Ingenieurwesen und der entsprechenden kommerziellen Relevanz leider Modetrends unterworfen. Wir sprechen daher von CAD-Technologie -kurz CAD- als Sammelbegriff für Methoden, Verfahren und Anwendungen der rechnerunterstützten Konstruktion und Arbeitsplanung /1.6/.



Ausgehend von der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine werden dabei **selbständig arbeitende** und **dialogorientierte Systeme** unterschieden.

Der Mensch beschreibt beim selbständig arbeitenden System lediglich die Aufgabenstellung. Das CAD-System wählt einen Lösungsweg und löst die Aufgabenstellung. Der Mensch kontrolliert die Endergebnisse und ändert bei Mängeln die Vorgaben, die dann vom System erneut bearbeitet werden. Die Vorteile eines solchen Systems liegen in der Einfachheit der Bedienung und der günstigen Rechnerauslastung durch die Anwendung im bedienungslosen Betrieb, insbesondere nachts.

Bereits 40 - 60 Prozent einer Aufgabenstellung können im Regelfall auf diese Art und Weise zufriedenstellend gelöst werden. Der Rest muß nachbearbeitet werden.

Bei dialogorientierten Systemen ist eine Nachbearbeitung nicht erforderlich. Der Ingenieur selbst löst bei einer Dialogbearbeitung die Aufgabenstellung in vielen Teilschritten im Dialog mit dem CAD-Programm.

Nach jedem Arbeitsschritt muß er das Teilergebnis kontrollieren und im Fehlerfall den Arbeitsschritt in korrigierter Form wiederholen.

Von großem Nachteil ist hierbei, daß der mit dem System arbeitende Mensch ständig Eingaben erbringen und dauernd kontrollieren und korrigieren muß (Bild 1.1).

Der Gesamtaufwand zur Beschreibung der Teilprobleme ist deutlich höher als bei einem selbständig arbeitenden System. Nachweislich ergeben sich auch Probleme aus der Benutzerführung. Die Maschine erwartet die zu verarbeitenden Informationen in einer bestimmten Reihenfolge. Diese stark systematisierte, festgelegte Arbeitsweise widerspricht dem normalen menschlichen Arbeitsvorgang, der zum Teil ideengeleitet, also unsystematisch, abläuft.

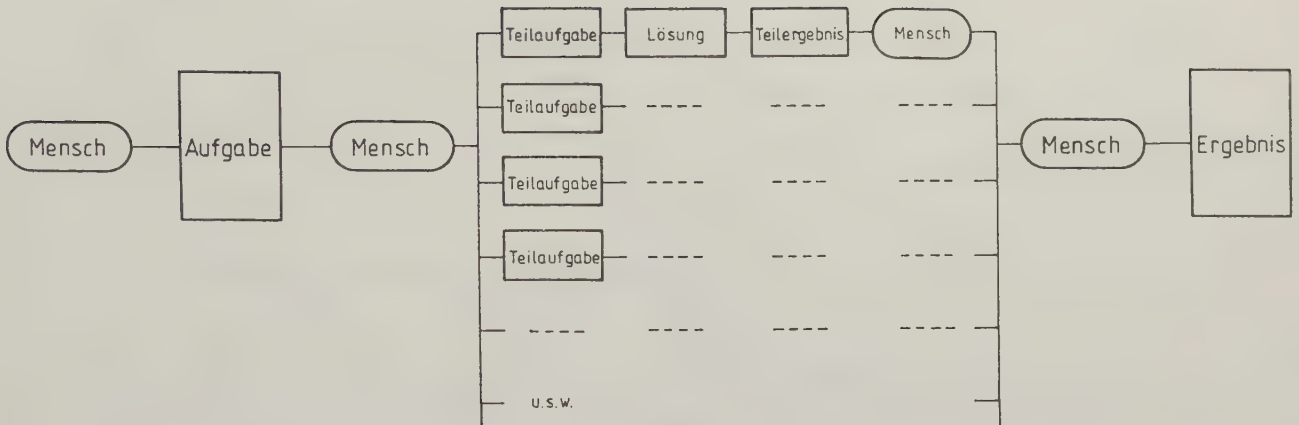


Bild 1.1: Ablaufschema eines Dialogsystems

Durch entsprechende Dialogführung, also durch Zulassen nur bestimmter Befehlsgruppen, wird der Mensch zu einem festgelegten Arbeitsverhalten gezwungen.

Der Idealzustand wird demnach in einem System erreicht, welches so automatisch wie möglich arbeitet, um den Benutzer von Routinearbeiten zu entlasten, und gleichzeitig anpassungsfähig genug ist, auch individuelle Wünsche zu erfüllen.

Ein neues Schlüsselwort in dieser Entwicklung ist der Begriff **Expertensystem**.

Das Expertensystem ist ein System, bei dem die Zerlegung der Aufgabenstellung in Teilprobleme durch den Rechner erfolgt. Der Rechner wählt mit Hilfe gespeicherten Wissens das passende Lösungsverfahren zu jedem Teilproblem aus und fügt auch die Teillösungen zu einer Gesamtlösung zusammen (Bild 1.2).

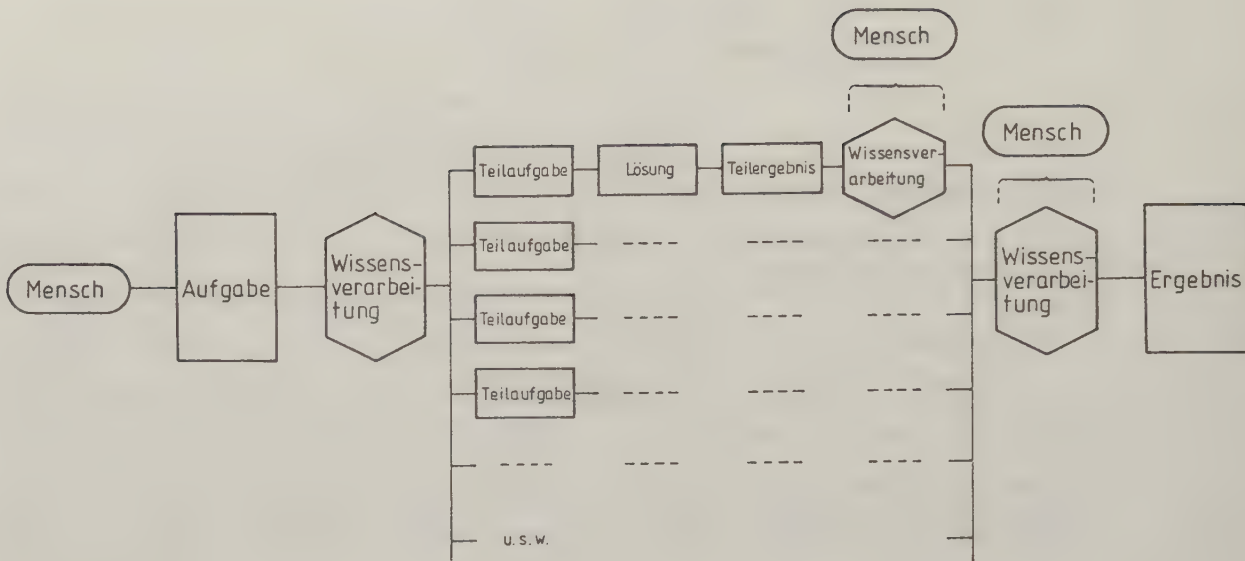


Bild 1.2: Ablaufschema eines Expertensystems

Der Dialogteil des Systems dient dabei nur zur Eingabe der Aufgabe und Überprüfung der Ergebnisse.

Der Mensch greift in die Problemlösung nur als Kontrollinstanz ein, wenn das gespeicherte Wissen allein nicht ausreicht.

In der traditionellen Konstruktion von Hand wird mit Hilfe erlernter Konstruktionsregeln und technischer Vorschriften eine Lösung für eine gegebene Aufgabenstellung erarbeitet. Soll der Rechner eine Konstruktionsaufgabe korrekt lösen, muß auf die gleichen Konstruktionsregeln und Vorschriften zugegriffen werden können.

Der Unterschied zwischen einem wissensbasierten Expertensystem für die Konstruktion und einem herkömmlichen Programm zur Lösung von Konstruktionsaufgaben besteht dabei in der Form der Speicherung und Bearbeitung der Regeln und Vorschriften. Bei herkömmlicher Programmierung sind

die Regeln Teil des Programmes und werden nacheinander in fest vorgegebener Reihenfolge abgearbeitet. Bei einem wissensbasierten System werden die Regeln unabhängig vom eigentlichen Programm festgehalten und die Ablaufsteuerung erfolgt mit Hilfe von Erfahrungswerten, sogenannten Heuristiken, die Teil der Wissensbasis sind.

1.3 Bedingungen für die praktische Anwendung

Genau wie bei der rechnerunterstützten Statik die Finite Element Methoden einzig ein Werkzeug darstellen, dessen Anwendbarkeit von der Bedienungsfreundlichkeit abhängt, so dienen CAD-Programme auch als Werkzeuge, die erst dann für die Vielfalt der möglichen Konstruktionsanwendungen tauglich werden, wenn die Ergebnisse nicht nur qualitativ, sondern auch wirtschaftlich den Ergebnissen konventioneller Arbeit überlegen sind. Im Gegensatz zur Statik, wo Berechnungen großer statisch unbestimmter Systeme erst durch Computer möglich wurden und so derartige Anwendungen ihre Existenzberechtigung erhalten, gibt es im CAD-Bereich gerade im Stahlbau und verwandten Gebieten nur wenige Konstruktionen, die ohne Rechner sehr schlecht konstruierbar sind. Hier herrscht also ein echter Wettbewerb zwischen konventioneller Arbeit von Hand und computerorientierter Methode, das heißt, nur das tatsächlich bessere Verfahren setzt sich durch.

Ein praxistaugliches CAD-System für den Stahl- und Anlagenbau muß durch hohen Automatisierungsgrad für Großkonstruktionen mit vielen, aber einfachen konstruktiven Detaillösungen wirtschaftlich anwendbar sein (Bild 1.3). Forschungsschwerpunkt ist hierbei die Erfassung und automatische Verwaltung des notwendigen Konstruktionswissens.

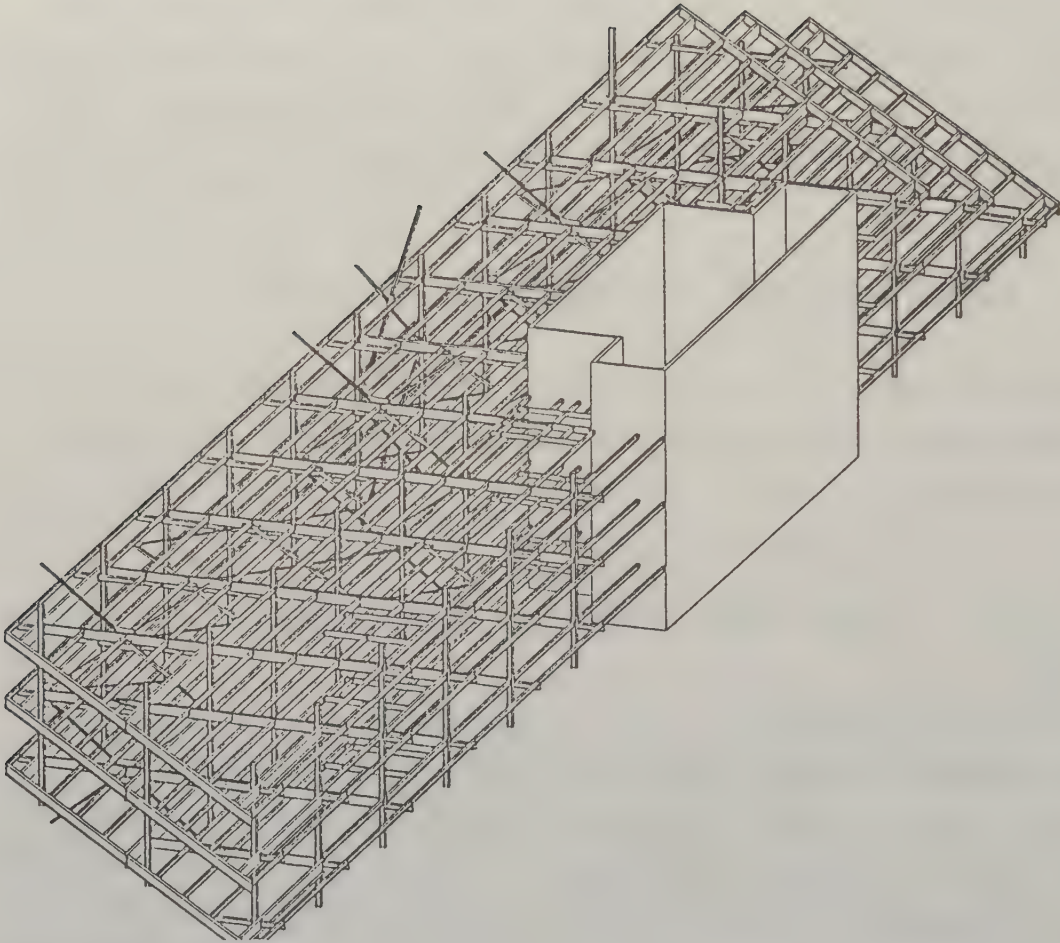


Bild 1.3: Großkonstruktion Jam-Joom (Werkbild CFEM)

Bei räumlich komplizierten und schwierigen Konstruktionen soll der Rechnereinsatz im wesentlichen neben der Arbeitserleichterung der Qualitätssicherung dienen, um zum Beispiel teure Probemontagen überflüssig zu machen. Als Hauptproblem für die Forschung tritt hierbei die einfache und schnelle Verarbeitung komplizierter Geometrien in den Vordergrund (Bild 1.4).

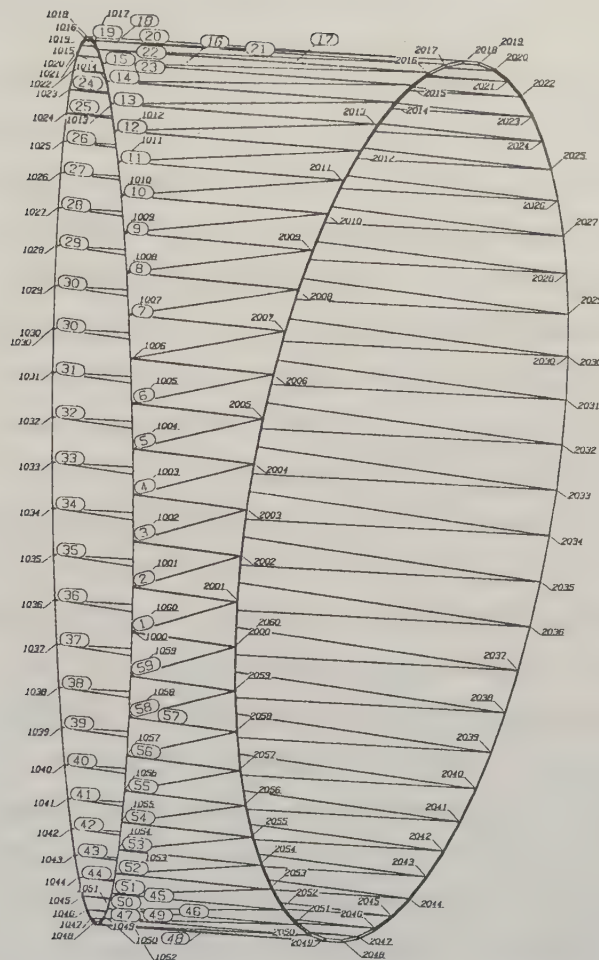


Bild 1.4: Kanalkonstruktion (Verbindung zweier räumlich angeordneter Ellipsen)

1.4 Hardwaretechnische Grundlagen

Voraussetzung für die Entwicklung und die Einsatzmöglichkeiten der computergestützten Konstruktion ist der Stand der Hardwaretechnik.

Der Programmentwicklung kommt zugute, daß die Computertechnik zu den dynamischsten Entwicklungsbranchen gehört. Im Vergleich würde heute ein vor 15 Jahren gekaufter Rechner bei der selben Leistung nur noch ein hundertstel des früheren Preises kosten /1.7/.

Ebenso ist der Preis für interne Speicher (memory) in den vergangenen 10 Jahren auf ein sechzigstel und für externe Speicher (Platten) auf ein zwanzigstel gefallen.

Als neueste Technik werden in einem Netzwerk verbundene Arbeitsplatzrechner statt eines Rechenzentrums benutzt. Dadurch steht an jedem Arbeitsplatz eine bestimmte Rechenleistung und gleichzeitig der gesamte externe Speicher aller Rechner zur Verfügung. Die Rechner bieten außerdem hochauflösende Grafikschrme und eine sogenannte Fenster-technik, mit der mehrere Arbeitsvorgänge auf dem Schirm simultan bearbeitet werden können.

In der Alltagsanwendung kann der CAD-Benutzer gleichzeitig an einem Sichtgerät die bereits erstellte Konstruktion in mehreren Ansichten zur Erinnerung anschauen sowie eine neue Eingabe fertigstellen.

Auf diese Weise entfällt ein Großteil der zeitraubenden Dokumentation von Zwischenergebnissen. Der Anwender hat die Möglichkeit, mehrere Arbeiten parallel durchzuführen. Hierdurch fallen auch längere Wartezeiten bei rechenintensiven Problemen nicht ins Gewicht, weil in dieser Zeit sinnvoll an anderen Teilproblemen gearbeitet werden kann.

Die inzwischen erreichte hohe Geschwindigkeit bei der Problembearbeitung nützt jedoch nichts ohne entsprechende Ausgabegeräte für die erzielten Ergebnisse. Elektrostatische Plotter ermöglichen die Ausgabe von Zeichnungen mit zehntausenden von Vektoren innerhalb weniger Minuten. Bei diesen Geräten verhindert nur der hohe Preis die weite Verbreitung. Für die Anwendung bei mittleren und kleinen Konstruktionen mit entsprechend geringerem Zeichnungsausstoß genügen auch schnelle, wartungsarme Stiftplotter, die mit Endlospapier im Dauerbetrieb benutzt werden können.

1.5 Softwaretechnische Grundlagen

Die CAD-Technologie auf dem hier vorgestellten Niveau gehört aufgrund der sehr großen zu verarbeitenden Datenmengen zu den rechen- und speicherintensivsten Rechneranwendungen. Deswegen war es noch vor einigen Jahren wichtig, durch entsprechende Programmierung Rechenzeit und Speicherplatz zu sparen. Heute steht dagegen die Übersichtlichkeit und Wartungsfreundlichkeit der Programme bei Programmgrößen von ca. 300.000 ausführbaren Anweisungen im Vordergrund. Der Speicherbedarf wird durch die inzwischen preisgünstige Hardware hinreichend befriedigt.

Die Programmierung in kleinen, in sich abgeschlossenen Teilen, die inhaltlich und programmtechnisch bei Einhaltung der Systemschnittstellen unabhängig sind, ist besonders wichtig für die Programmwartung und -pflege. Diese Art der Programmierung wird auch kurz modular genannt /1.8/.

Bei den Entwicklungskosten eines großen Programmsystems werden 50 - 80 Prozent durch Qualitätssicherung verursacht /1.9/.

Einsparungen von ca. 50 Prozent bei Testläufen und Korrekturen durch wartungsfreundlichen, modularen Programmaufbau entscheiden eher über die Wirtschaftlichkeit als 20 Prozent Rechenzeitverlust, der eine Folge der Modularisierung sein kann. Zuverlässigkeit, Änderbarkeit und Portabilität sind für den Praxiseinsatz relevant /1.10/.

Eine Reihe von Forschungsarbeiten beschäftigt sich daher aufgrund des gezeigten Stellenwertes mit den Möglichkeiten der Strukturierung und Modularisierung von Programmen. Die dort aufgestellten Regeln werden im weiteren berücksichtigt. Auf eine ausführliche Darstellung wird unter Hinweis auf /1.11, 1.12, 1.13, 1.14/ verzichtet.

1.6 Allgemeine theoretische Grundlagen

Der Konstruktionsvorgang, der in der Regel intuitiv, ideengeleitet abläuft, muß systematisiert werden, um ein Expertensystem anwenden zu können. Das Lehrgebiet "Konstruktionssystematik im Maschinenbau" liefert hier wertvolle Erkenntnisse, die sich auch auf den Stahlbau übertragen lassen. Erster Schritt zur Systematisierung ist die Aufteilung der Konstruktion in Konstruktionsphasen (Bild 1.5) und wiederum die Aufteilung dieser Phasen in eine Folge logischer Lösungsschritte.

Konstruktionsphasen	Beispiel: Flugzeugbau	Beispiel: Automobilbau	Beispiel: Stahlbau
Aufgabe formulieren Teilfunktionen ermitteln Funktionstrukturen bilden	Handskizze des Flugzeugs	Vorentwurf	Handskizze einer Halle
Lösungsprinzipien für Teilfunktionen ermitteln	Tragflügel- entwurf	Styling	Rahmenraster
Gestaltung und Anordnung der Elemente	Endmaße, Nutzlast, Volumen, Schlankheit	genaues Modell	Anordnung aus- steifender Ele- mente
Endgültige Lösung für Einzelteile und Baugrup- pen	Rumpfquer- schnitt	Flächenformen	Rahmenformen
Fertigungsverfahren	Serienfertigung	Serienfertigung	Einzelfertigung

Bild 1.5: Konstruktionsphasen

Im allgemeinen ist die Auswahl einer konstruktiven Lösung im Bereich des Stahlbaus logisch begründbar und nach Regeln herleitbar.

Durch einen Vergleich der Anwendungen im Maschinenbau und Stahlbau wird der Unterschied in den Aufgabenstellungen deutlich.

Im Maschinenbau wird für die Auswahl und Gestalt der dort verwendeten Bauelemente ein höherer Aufwand getrieben. Die einzelnen Elemente werden im Detail optimiert, um für die Serienherstellung möglichst kostengünstige Lösungen zu erhalten. Im Gegensatz dazu liegt der Schwerpunkt im Stahlbau gerade beim Vereinheitlichen der Elemente. Aufgrund der Einzelfertigung des Gebäudes ist es sinnvoll, möglichst viele ähnliche Elemente zu verwenden, da nur so eine wirtschaftliche maschinenintensive Fertigung möglich ist.

Der Ausgangspunkt liegt in der Forderung nach Funktionserfüllung bei den geringsten Kosten. Zur Verfügung stehen mehrere mögliche Lösungen, aus denen die beste gewählt wird.

Rodenacker /1.15/ nennt dieses synthetische Vorgehen

Methodisches Konstruieren.

Im Gegensatz zur analytischen Vorgehensweise, bei der der Konstrukteur eine vollständig neue Lösung herleitet, wird beim methodischen Konstruieren eine ideale Näherung an die Zielvorgaben mit Hilfe bekannter Elemente gesucht.

Jeder Konstruktionsvorgang wird dazu in so kleine Schritte wie möglich aufgespalten. In jedem der Schritte kann eine Anzahl sinnvoller Alternativen angeschlossen werden.

Je mehr Schritte durchlaufen und je mehr Alternativen angesteuert werden, desto individueller paßt sich die Gesamtlösung der Aufgabenstellung an.

Entscheidend ist dabei die Wahl der richtigen Detaillösung in der jeweiligen Konstruktionsphase. Dieser Bewertungs- und Auswahlprozeß kann nicht mehr durch ein Rechenprogramm herkömmlicher Struktur bewältigt werden.

Die traditionelle Programmzweiteilung in Programm und Daten wird dieser Problematik nicht gerecht.

Im Normalfall wird das rechnerinterne Modell und die Art seiner Auswertung ohne Zwischenschritt aus den Eingabedaten hergeleitet.

Erfolgt die Modellbeschreibung mit Hilfe formatgebundener Formulare /1.16/ oder auch formatfrei /1.17, 1.18/ werkstückbezogen, erreicht die Menge der einzugebenden Daten bei Großkonstruktionen einige hundert Seiten.

Diese Eingabedaten bestehen jedoch nur zum kleineren Teil aus planerischen Vorgaben, etwa Gebäudeabmessungen, zu verwendenden Teilen und Anschlußformen. Der bei weitem größere Teil muß den Lösungsweg enthalten.

Hier kommt das neue Element der rechnergestützten Bearbeitung, das im Rechner gespeicherte Wissen, zum Tragen.

Durch das Wissen ist festgelegt, wie die richtige Problemlösung auszusehen hat. Auf diese Art und Weise reduziert sich die ganze Eingabe auf die Aufgabenstellung. Die der Problemstellung entsprechende korrekte Modellbeschreibung erfolgt durch Auswertung des gespeicherten Wissens.

Die Wissensverarbeitung ersetzt intelligentes Verhalten eines Menschen bei der herkömmlichen Eingabeformulierung. Dieses Rechneranwendungsgebiet wird daher auch **Künstliche Intelligenz (KI)** genannt.

Forschungsschwerpunkte auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz sind zum Beispiel:

- Verständnis von Sprache und Bildern
- Steuerungs- und Planungssysteme
- Automatisches Beweisen von Theoremen
- Expertensysteme

Expertensysteme lösen mit Hilfe gespeicherten Expertenwissens Beratungs- und Interpretationsaufgaben der verschiedensten Wissensbereiche.

Den Aufbau des dieser Arbeit zugrundeliegenden Expertensystems zeigt Bild 1.6 /1.19/.

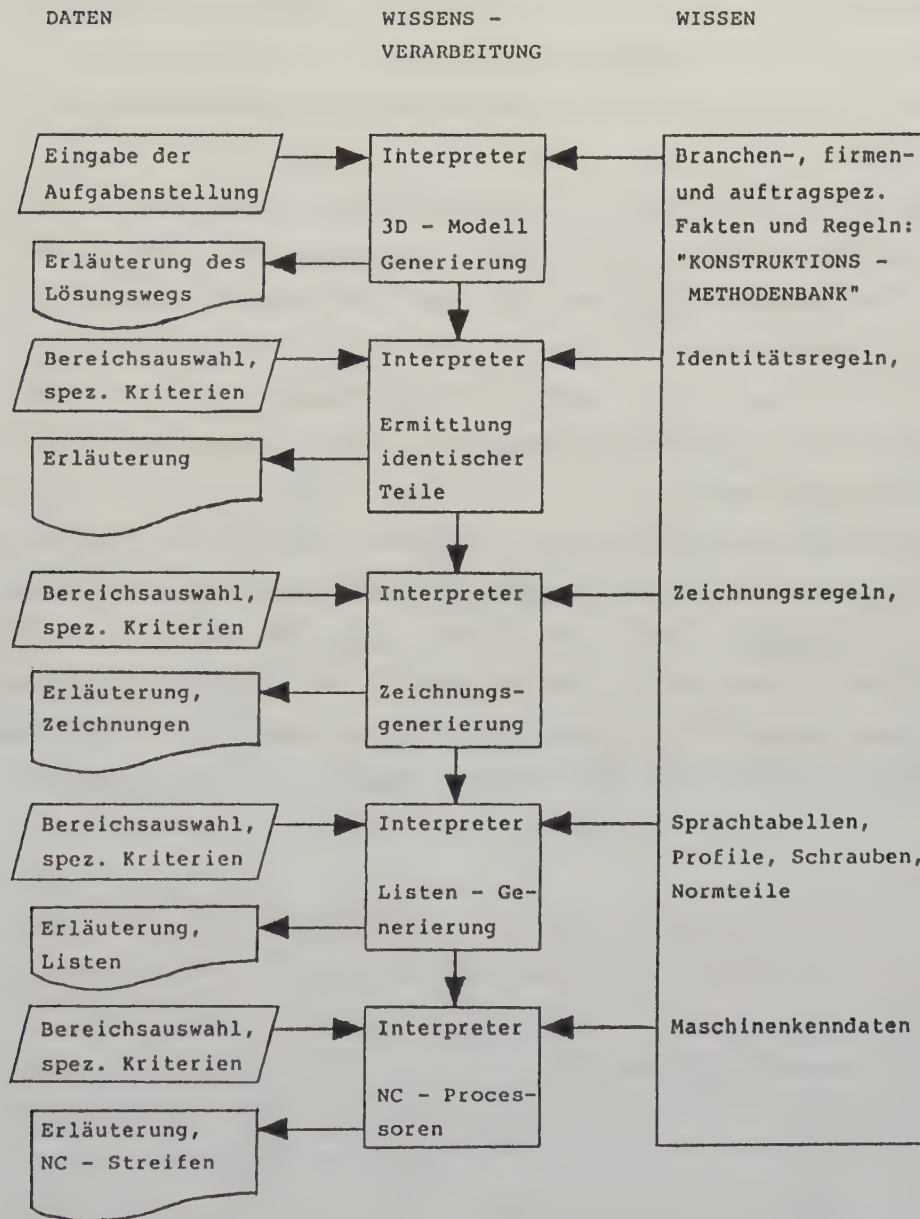


Bild 1.6: Struktureller Aufbau eines CAD-Expertensystems /1.19/

Die klare Dreiteilung des Programmschemas in :

Daten - Wissensverarbeitung - Wissen

verursacht an den Schnittstellen der Systemstrukturen einen höheren Kopplungsaufwand. In der Verarbeitungsstufe wird ein rechnerinternes Konstruktionsmodell erzeugt.

Soll das in allgemeiner Form gespeicherte Wissen angewendet werden, müssen die aktuellen Konstruktionsdaten der Wissensstufe zugänglich gemacht werden.

Neben der Erforschung der Denkschritte beim Konstruieren ist besonders die einfache Auswertung des rechnerinternen Modells entscheidend für die Anwendbarkeit eines Expertensystems.

Im Rahmen dieser Arbeit werden daher, neben der Darstellung des Konstruktionswissens, die für die Konstruktion notwendigen Geometrieinformationen aus dem rechnerinternen Modell der Konstruktion ermittelt. Die zur Aufbereitung des rechnerinternen Modells notwendigen Lösungswege werden erläutert und entsprechende Algorithmen hergeleitet.

2. CAD - KONSTRUKTION MIT DEM BOCHUMER EXPERTENSYSTEM

2.1 Vorgehensweise bei der CAD-Konstruktion mit Unterstützung durch die neu entwickelten Wissensbasen

Jedes CAD-System arbeitet erst dann erfolgreich, wenn es auf Konstruktionslösungen oder Daten zurückgreifen kann, so daß die Detailbeschreibung entfällt. Durch häufige Anwendung kann so aus einer guten eine optimale Konstruktionslösung werden, da sich naturgemäß eine hohe Stückzahl vergleichbarer Konstruktionselemente positiv auf die Fertigungsabläufe auswirkt.

Aus diesem Grunde ist es immer ein Hauptziel der Bochumer Entwicklungsarbeit gewesen, ein System zu schaffen, bei welchem der Konstrukteur allein durch Vorgabe der konzeptionellen Grundlagen alle Konstruktionsunterlagen erhält. Die Palette der Ergebnisse reicht von der Übersichtszeichnung über die Hauptteilzeichnungen und Perspektiven sowie Explosionszeichnungen bis zu Einzelteilzeichnungen, Stücklisten und Steuerlochstreifen für numerisch gesteuerte Maschinen /2.1,2.2/.

Die Bearbeitung teilt sich, genau wie bei konventionellem Vorgehen, in mehrere Abschnitte auf. Zunächst erfolgt nach einer überschläglichen Vorstatik im Rechnerdialog die Eingabe der Auftragsdaten, danach die Geometriefestlegung der Rohkonstruktion und zuletzt die Beschreibung der konstruktiven Aufgabenstellung.

Nach der Vorstatik werden dabei sinnvolle Trägerprofile und Anschlußdimensionierungen gewählt. Wird im Dialog die Rohkonstruktion fertiggestellt, kann danach aus dem dabei erstellten rechnerinternen Modell mit interaktiver Unterstützung die Eingabe für Statikprogramme hergeleitet werden /2.3/. Die Ergebnisse der statischen Berechnung dienen dann als Grundlage zur Kontrolle und gegebenenfalls Korrektur der Konstruktion.

Bei der Eingabe von Profilen oder der Wahl von Anschlüssen werden dem Benutzer zunächst voreingestellte gängige Profiltypen und Anschlußausführungen angeboten. Durch Eingabe eines Profilnamens oder durch Angabe von Anschlußparametern teilt er dem System seine Konstruktionswünsche mit.

Während des Dialoges wird das rechnerinterne Modell nur soweit notwendig erzeugt. Die rechenzeitintensive Bearbeitung der Konstruktionsdetails erfolgt erst nach der Formulierung der Aufgabenstellung im bedienungslosen Betrieb, wobei eine während des Dialoges aufgebaute Eingabedatei abgearbeitet wird.

Die Bilder 2.1 bis 2.4 verdeutlichen den Weg von der Dialogeingabe bis zu den fertigen Zeichnungen.

Eingabe :

1.) Tastatur

Gebäuderaster

Auftrag ?	RUB-D1,CADBAU3,TEST,RUB,SAM
x-Raster ?	0,5000;
Achsbezeichnung ?	1
y-Raster ?	0,4000;
Reihenbezeichnung ?	A
Koten ?	0,1500,2000
Kotenbezeichnung ?	K

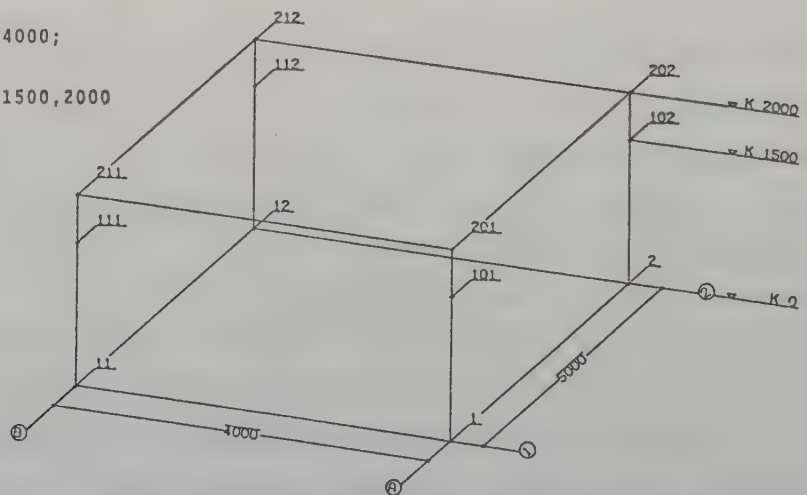


Bild 2.1: Definition der Grundrasters

2.) Menüfeld

Rohkonstruktion

interaktive freie Definition
der Gebäuderohkonstruktion

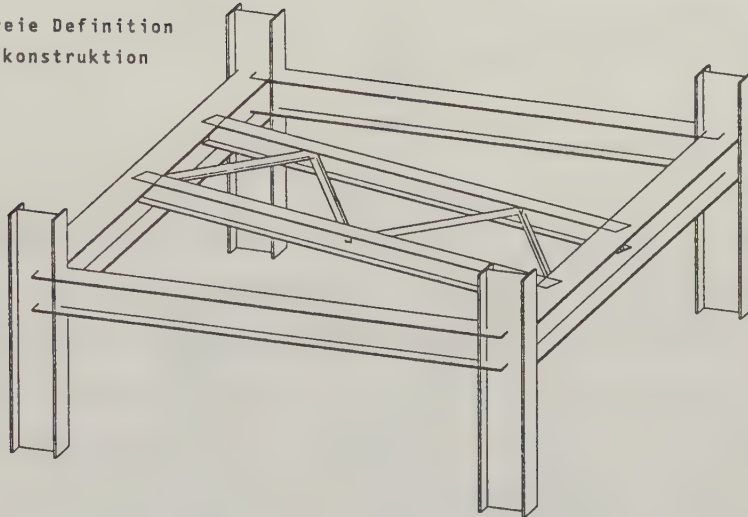


Bild 2.2: Definition der Rohkonstruktion

3.) Menüfeld + Tastatur

Aufgabenstellung

interaktive Beschreibung der
Detailierungsaufgaben

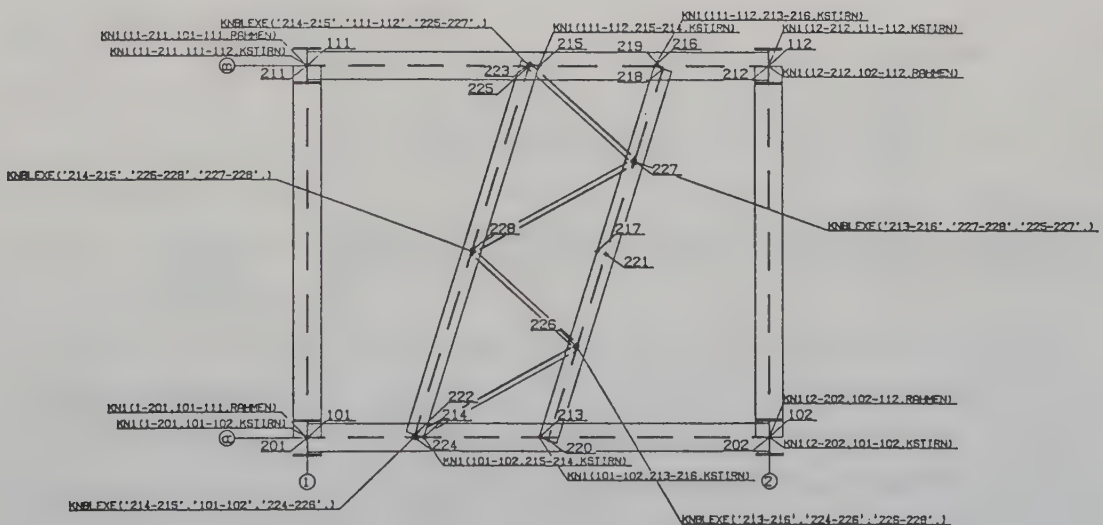
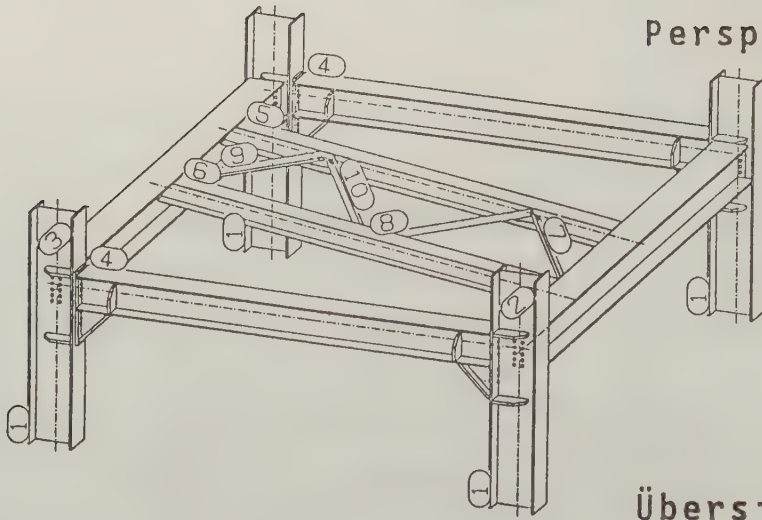
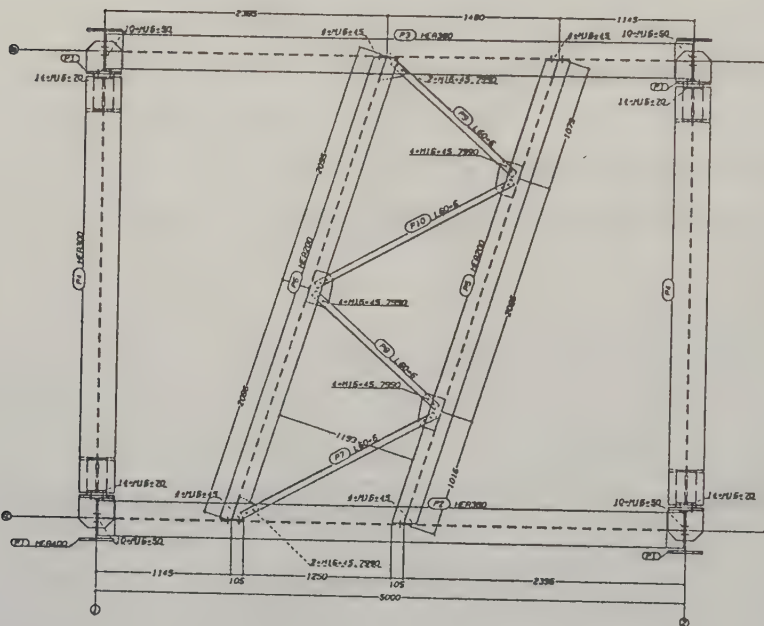


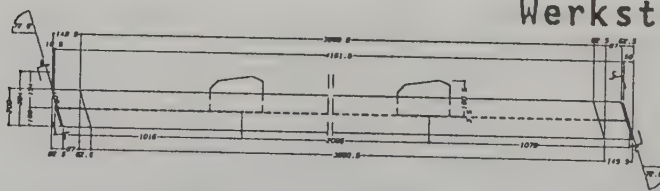
Bild 2.3: Definition der Aufgabenstellung



Perspektivzeichnung



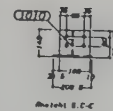
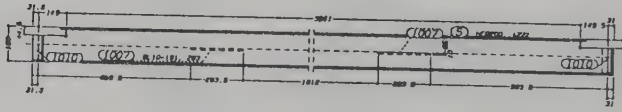
Übersichtszeichnung



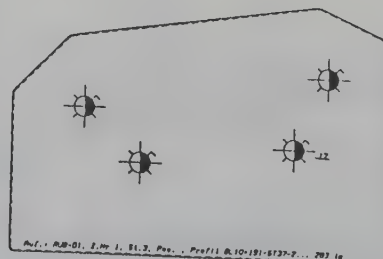
Werkstattzeichnung



Anschluss S-D-B



Anschluss S-D-C



Naturgröße

Bild 2.4: Ergebnisse

Das Programm erkennt bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung automatisch, wie Ausklinkungen beschaffen sein müssen und wie Schrauben und Teile angeordnet werden. Das hierzu notwendige Wissen enthalten Wissensbasen in Form von **Makros**, auch Konstruktionsmethoden genannt. Im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte der letzten Jahre wurde umfangreiches Wissen zu branchenspezifischen Konstruktionsweisen im System gespeichert. Firmenspezifisches Wissen jedoch muß in jeder Firma erst gesammelt und in den Wissensbasen ergänzt werden. Für den schnellen wirtschaftlichen Erfolg in der Anwendung eines Expertensystems ist daher entscheidend, wie hoch der technische und zeitliche Aufwand für die Eingabe des noch unbekannten Wissens ist. Er ist um so geringer, je besser das bereits gespeicherte Wissen strukturiert ist, da sich dann neues leicht aus vorhandenen Teilelementen zusammenstellen läßt.

2.2 Bedeutung der Konstruktionsmethoden

In begleitenden Studien zu Einsatzmöglichkeiten des System bei verschiedenen Firmen wurde die Relevanz der Methoden für die effektive Anwendung des Programmsystems deutlich. Wirtschaftlicher Einsatz eines CAD-Systems ist je nach den Anschaffungs- und Rechenkosten dann gegeben, wenn die Ergebnisse etwa 30 - 50 Prozent schneller als konventionell erzielt werden und fehlerfreier als konventionelle Unterlagen sind.

In der Beurteilung müssen unterschiedliche Arbeitsvorgänge betrachtet werden. Ausgangswerte liefert der Arbeitsaufwand in der konventionellen Konstruktion. Hiermit werden die Arbeitsfortschritte bei der CAD-Konstruktion mit und ohne Methodenbank und beim interaktiven Arbeiten verglichen (Bild 2.5).

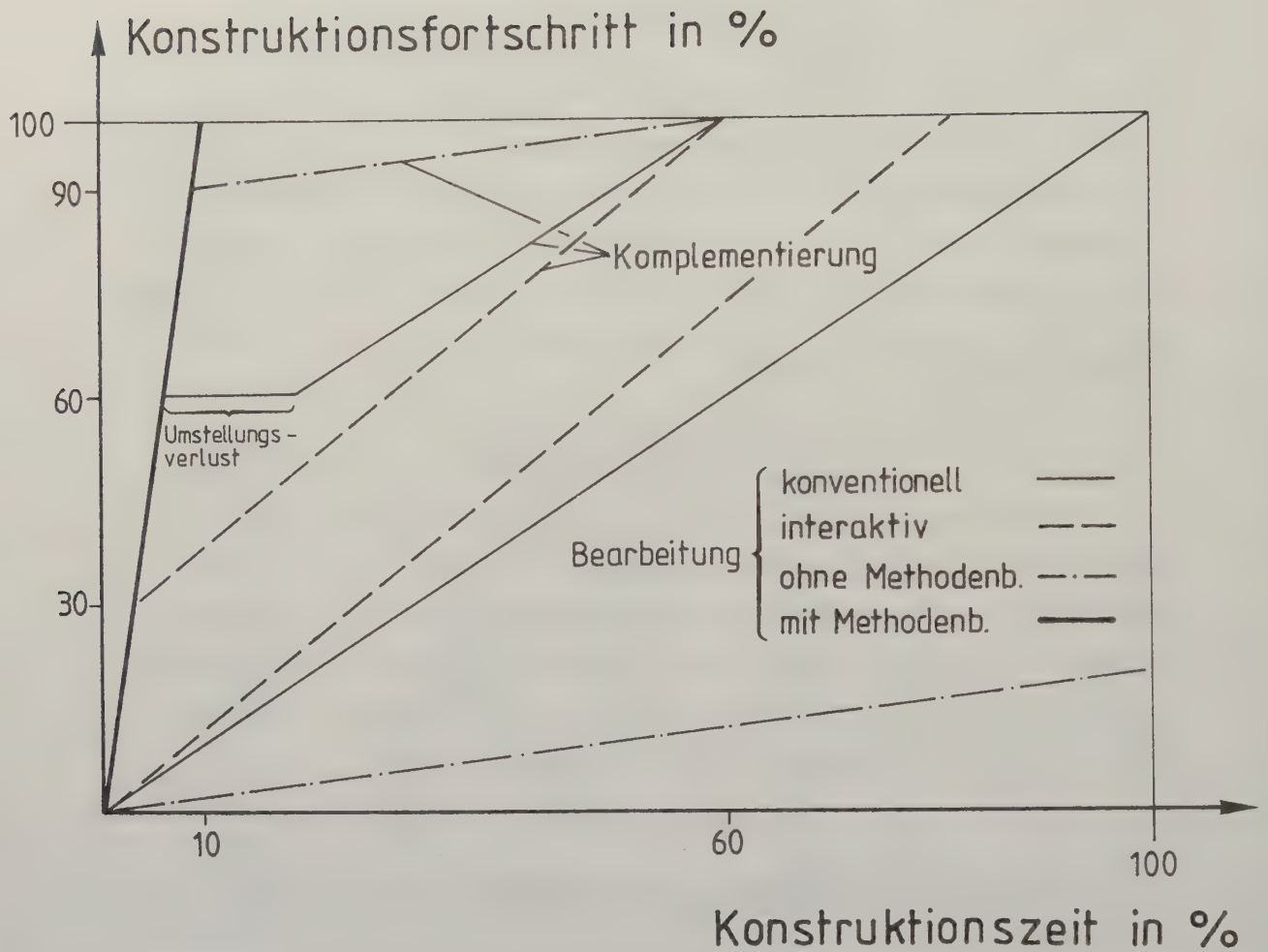


Bild 2.5: Vergleich einer konventionellen Bearbeitung mit einer CAD-Bearbeitung mit und ohne Konstruktionsmethodenbank

Insbesondere aus dem Unterschied zwischen konventionellem Konstruktionsfortschritt und Konstruktionsfortschritt ohne Methodenbank ist die Bedeutung der Methodenbank für die Wirtschaftlichkeit klar erkennbar.

Je nach Konstruktionstyp liegt der Bearbeitungsaufwand ohne fertige Konstruktionsmethoden höher als bei konventioneller Vorgehensweise. Unzweifelhaft ist das Verhältnis nach der Erstellung leistungsfähiger Methoden umgekehrt. Der Aufwand für die Entwicklung komplexer Methodensysteme zum Beispiel für allgemeine Trägeranschlüsse, Rohrleitungshalterungen, Verbandskonstruktionen etc. lag jedoch in den Entwicklungsanfängen in der Größenordnung von Mannjahren.

Wie die vorliegende Arbeit zeigt, wird durch die Verwendung leistungsfähiger Grundlagenmethoden zum Beispiel für die Lageerkennung und Anschlußverwaltung und die Anwendung der später erläuterten Konstruktionsschemata der Entwicklungsaufwand deutlich verringert. Dadurch sind firmenspezifische Entwicklungen in weitaus kürzeren Zeiträumen möglich.

Bei gespeichertem Wissen denkt man unwillkürlich an Konstruktionskataloge mit typisierten Teilen zum Beispiel des Deutschen Stahlbauverbandes, der Schweizer Zentralstelle für Stahlbau und vergleichbarer Institutionen. Die erste Formulierung der Umsetzung von Konstruktionsproblemen mit Hilfe von Methodenbanken von Schlensker /1.4/ beschränkte sich noch im Wesentlichen auf solche typisierten Detaillösungen.

Die Methoden des Expertensystems enthalten aber weit mehr. Die wesentliche Leistung besteht nicht in der Ausführung eines bestimmten Katalogtyps, sondern in dem Erkennen, welche individuellen Randbedingungen (Trägergeometrie, Störteile) zu berücksichtigen sind.

Als Voraussetzung für die Anwendbarkeit von Kataloganschlüssen müssen ganz bestimmte, stark einschränkende geometrische Bedingungen vorliegen. Diese sind im normalen Stahl- und Anlagenbau meist nicht gegeben. Hauptaufgabe der hier entwickelten Konstruktionsmethoden ist es,

gerade diese zufällig gegebenen Geometrien zu untersuchen, herauszufinden, welche Anschlußlogik darauf anwendbar ist und die Randbedingungen zu bestimmen. Ist die Anschlußgeometrie festgelegt und sind die Randbedingungen bekannt, so ist die eigentliche Anschlußausführung einfach und kann zum Teil auch mit Hilfe der oben erwähnten Katalogdaten erfolgen.

Würde sich die Untersuchung nur auf die für einen bestimmten Anschluß notwendigen Informationen beschränken, müßten vergleichbare Regeln für jede vergleichbare Konstruktion neu aufgestellt werden. Das Ergebnis wäre eine sehr große Zahl von Anwendungsfällen, die letztlich unüberschaubar würde.

Einfaches Beispiel ist hierfür die orthogonale Anordnung zweier Träger. Der eine Träger kann in vier Hauptansichten mit denen des anderen Trägers kombiniert werden. Die Auswirkungen dieser sechzehn Fälle auf die Konstruktion sind ähnlich, deshalb muß die Auswertung dieser Fälle außerhalb der eigentlichen Konstruktionsbeschreibung erfolgen, da sich sonst der Beschreibungsaufwand vervielfacht.

Die in vielen Konstruktionen vorkommenden Grundkonstruktionselemente wurden einmal ausführlich analysiert und allgemeingültig gespeichert. Sie werden danach in übergeordneten Stufen in unterschiedlichen Kombinationen aufgerufen.

3. STRUKTURIERUNG UND SAMMLUNG VON WISSEN

3.1 Strukturierung des Wissens

Wie gezeigt, enthält das Programmsystem als zusätzliche Komponente, neben der bisher üblichen Zweiteilung in Code und Daten, das gespeicherte Wissen, wie Konstruktionen auszuführen sind. Elemente der Wissensbasis sind Fakten, Erfahrungen und Annahmen /3.1/. Das Faktenwissen enthält technische Richtlinien und Normen. Regeln, wie das Faktenwissen angewandt werden muß, repräsentieren die Erfahrung. Durch begründete Annahmen wird die Anzahl der anzuwendenden Regeln begrenzt. Im Erfahrungswissen muß unterschieden werden zwischen dem Wissen um spezielle Lösungswege, also einer bestimmten Anordnung von Regeln, und der allgemeinen Erfahrung, welches der richtige einzuschlagende Lösungsweg ist. Das in Form einer geschlossenen Einzellösung darstellbare Wissen wird prozedurales Wissen oder Anwendungswissen genannt /3.2, 3.3/.

Die Auswahl des richtigen Lösungsweges ist diesem Wissen übergeordnet. Die Darstellung des Kontroll- beziehungsweise Auswahlwissens erfolgt in Form von Regeln, die als Metaregeln bezeichnet werden, da sie den Einsatz der eigentlichen Regeln steuern /3.2/.

Die Speicherung des Wissens kann nicht geschlossen erfolgen. Im Gegenteil, es müssen unterschiedliche Wissensinhalte nach Gruppen getrennt betrachtet werden. Das Hauptproblem liegt nämlich nicht in der Speicherung des Wissens, sondern darin, es auch in der Konstruktion zu berücksichtigen. Das System muß sich an den richtigen Stellen daran 'erinnern'.

Im ersten Schritt wird das Faktenwissen abgelegt. In Form von Hintergrunddatenbanken werden dafür zum Beispiel Schraubenreißmaße etc. abgespeichert. Methoden zur Pflege

und Verwaltung dieser Daten sind hierzu erforderlich.

Im zweiten Schritt werden einzelne Konstruktionslösungen als Regelwerke formuliert.

Das Wissen, welche Werte für die Teilkonstruktionen notwendig sind und wie diese miteinander zu verknüpfen sind, wird danach, in einem dritten Schritt, in Form von Meta-regeln festgehalten.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich die folgende Struktur der Wissensdarstellung (Bild 3.1):

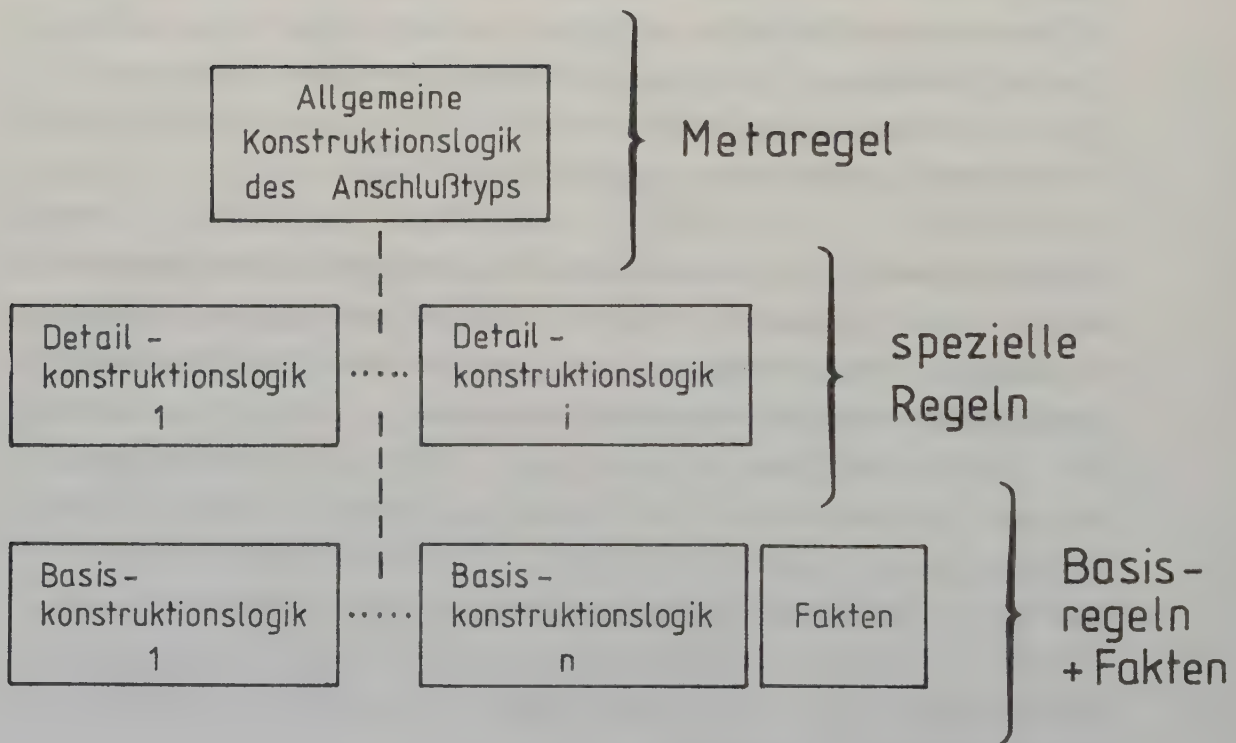


Bild 3.1: Struktur der Wissensrepräsentation

Regeln und die sie verwaltenden Metaregeln müssen in ausgeglichenem Verhältnis zueinander stehen (Bild 3.2, /3.3/).

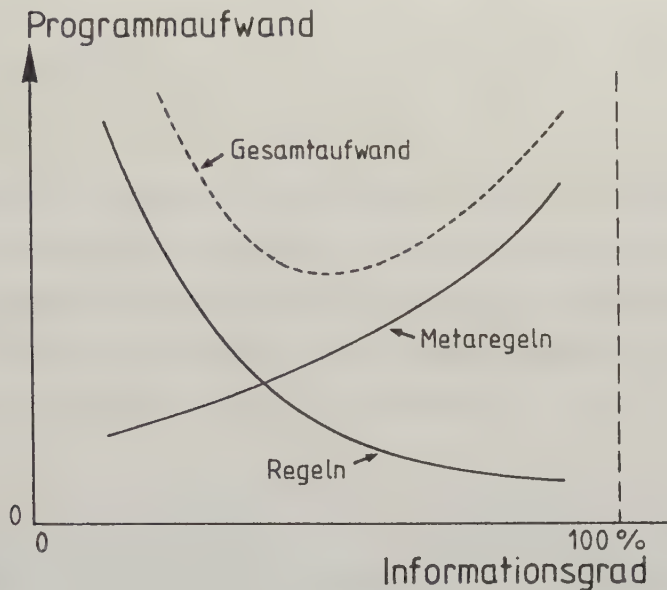


Bild 3.2: Problemlösungsaufwand in Abhängigkeit von Regeln und Metaregeln

3.2 Varianten-, Anpassungs- und Neukonstruktionen - Beurteilung der Anwendbarkeit von Wissensbasen

Die Denkprozesse, die beim Konstruieren eines Detailpunktes ablaufen, sind dann relativ einfach algorithmisierbar, wenn das zu analysierende Detail nur von wenigen Anschlußelementen beeinflusst wird (Bild 3.3).

Grundsätzlich können dabei verschiedene Schwierigkeitsgrade unterschieden werden. Die sicherlich einfachsten Fälle fallen unter den Begriff **Variantenkonstruktion**.

Stracke definiert die Variantenkonstruktion als Konstruktion nach Vorbildern /3.4/. Einfaches Beispiel für einen solchen Konstruktionstyp ist der Entwurf einer Schraubenverbindung. Bei gegebenen zu verbindenden Teilen, gegebener Schraubenart, bekanntem Werkstoff und bekannter

Kraft kann der Schraubendurchmesser und die Klemmlänge errechnet werden. Die Eingangsgrößen sind nach Art und Anzahl bekannt, ebenso der Rechengang und die Ausgangsgrößen.

Der häufigste Fall ist in der Praxis die **Anpassungskonstruktion**. Dabei wird aus bekannten Vorbildern unter Berücksichtigung neuer Nebenbedingungen eine neue Konstruktion geschaffen. Bei der Anpassungskonstruktion steht zwischen den arithmetischen, logischen und geometrischen Konstruktionselementen die Auswahl des jeweils richtigen Elementes für den nächsten Arbeitsschritt (Bild 3.3).

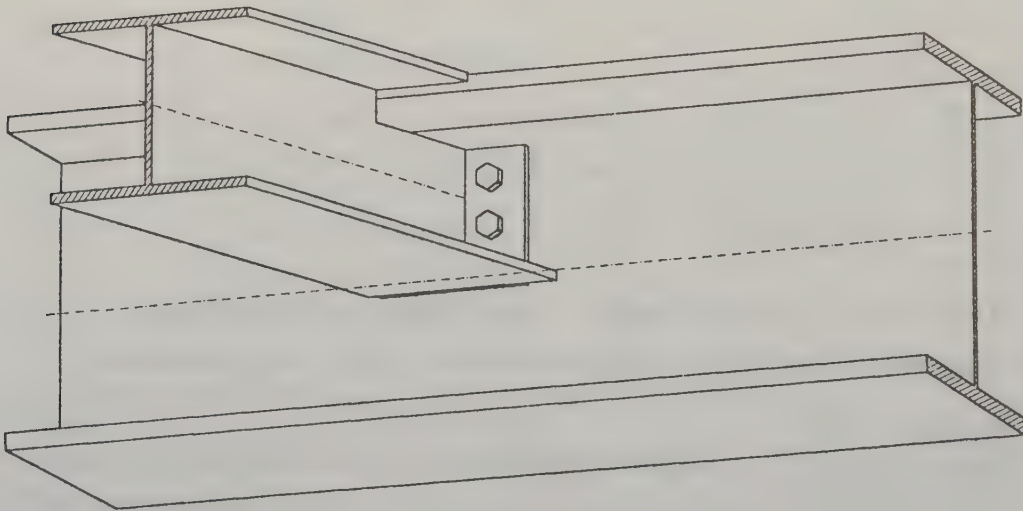


Bild 3.3 Freischnitt einer Anpassungskonstruktion

Diese Auswahl ist in der konventionellen Arbeit ein Denkprozeß. Soweit Entscheidungsregeln für diesen Denkprozeß angegeben werden können, lassen sich auch solche Denkvorgänge als abrufbares Wissen speichern. Intuition kann und soll dabei nicht durch ein Programm ersetzt werden.

Aus diesem Grunde ist in jedem Fall noch ein interaktiver Programmzusatz erforderlich, der es ermöglicht, in Ausnahmesituationen durch äußeren Eingriff die festgelegten Bahnen zu verlassen.

Den kompliziertesten Fall stellt die komplette **Neukonstruktion** dar. Ohne Vorbild muß aus abstrakten Forderungen in Einzelschritten die Konstruktion hergeleitet werden. Da für die Lösung die genau zutreffenden Regeln fehlen, können durch Zugriff auf eine Wissensbasis nur Lösungsvorschläge unterbreitet werden, die der Anwender im Dialog bewerten und gegebenenfalls korrigieren muß.

Im Stahl- und Anlagenbau ist die Gesamtkonstruktion, das Bauwerk, in der Regel eine Neukonstruktion. Im Detail treten jedoch fast ausschließlich Anpassungskonstruktionen und Varianten auf.

4. ENTWURFS- UND TESTMETHODIK

Die Entwicklung und das Testen einer praxisreifen Wissensbasis erfolgt in Anlehnung an die Entwurfsstrategie herkömmlicher großer Programmsysteme. In der vorliegenden Arbeit wurden frühere Forschungsergebnisse /4.1-4.8/ für den Entwurf von Wissensbasen weiterentwickelt und modifiziert. Im Gegensatz zum Programmentwurf für eingegrenzte Problemstellungen mit normalerweise bekanntem Aufgabenumfang beginnen die Schwierigkeiten beim Entwurf einer Wissensbasis bereits bei der Festlegung der Aufgabenstellung.

Aus der Sicht der späteren Anwender wird dazu zunächst die Leistungsanforderung an das System festgelegt. Leider läßt sich das Wissen der Fachleute vor Ort nicht ohne weiteres datenverarbeitungsgerecht darstellen. Zunächst müssen die Anforderungen und Denkschritte zu einzelnen konkreten Lösungen allgemeingültig erfaßt und formuliert werden. Das Ergebnis dieser Arbeit sind letztlich technische Richtlinien, in denen die Konstruktionsziele und -regeln niedergeschrieben sind.

Zur Festlegung der Variationsbreite der auszuführenden Konstruktion müssen aus den vorhandenen Einzelaufnahmen die Grenzfälle hergeleitet werden. Durch Einführung geeigneter Konstruktionsvariablen können die Übergänge von einem Grenzfall zum nächstliegenden beschrieben werden.

Das sich hieraus ergebende Konstruktionsspektrum definiert die Leistungsanforderung an das System.

Da in der Regel die Festlegung aller Grenzfälle nicht auf Anhieb gelingt, ist wie folgt vorzugehen:

- Die mit Sicherheit variablen Elemente werden als Parameter in die Konstruktionsmethoden eingebaut.
- Festwerte werden innerhalb der Konstruktionsmethoden auf Variable zugewiesen.

Die Festwerte dienen damit als sinnvolle Voreinstellungen für die Konstruktion.

Erfahrungsgemäß reicht es nicht aus, nur die Ansteuerung der Konstruktionsausführung flexibel zu gestalten. Der Anwender muß die Möglichkeit erhalten, eigene Konstruktionsvarianten in das bestehende System zu integrieren, ohne an bestehenden Konstruktionsmethoden etwas ändern zu müssen.

Das Ergebnis der Spezifikationssammlung wird in Form eines sogenannten Pflichtenheftes niedergelegt. Das Pflichtenheft beschreibt den Zusammenhang zwischen Eingabe und Ergebnis. Bereits in diesem ersten Schritt muß parallel zur Erstellung des Pflichtenheftes die Korrektheit und Widerspruchsfreiheit des Konzepts getestet werden. Hier werden die ersten Testfälle der Programmfunktionen entwickelt.

In der nächsten Stufe, dem eigentlichen Entwurf der Wissensbasis, werden aus dem Pflichtenheft Funktions- und Strukturpläne erstellt. Testaufgabe ist das Aufstellen von Testdatensätzen, mit denen die Struktur und Teilfunktionen überprüft werden können.

Im dritten Schritt, der Codierung, werden zu den Plänen ablauffähige Programme entwickelt. Die im zweiten Schritt entwickelten Testdaten werden hier angewandt. Dabei hat sich eine Vorablieferung der Software an Pilotanwender aus dem Kreis der späteren Anwender bewährt.

In Zusammenarbeit mit den Pilotanwendern können Fehler in der Umsetzung des Pflichtenheftes und Spezifikationsfehler frühzeitig erkannt und beseitigt werden. Insbesondere Konzeptionsfehler, durch die zum Beispiel die Handhabbarkeit der Software durch ungeübte Anwender beeinträchtigt wird, können so gefunden und beseitigt werden.

Aufgrund der Vielfalt auftretender Konstruktionsfälle ist es unmöglich, alle kombinatorisch möglichen Entscheidungsverknüpfungen zu testen. Der einzige Weg, dennoch zu prüf-

baren Programmen zu gelangen, bietet sich in der weitgehend unabhängigen Gestaltung der einzelnen Konstruktionsmethoden.

Jede Methode erhält eine Ein- und Ausgabeschnittstelle, so daß an diesen Schnittstellen der Datenstrom kontrolliert werden kann. Jede Methode wird dann einzeln getestet. Nach Abschluß der Modultests werden im wesentlichen globale Raumlagen-, Profil- und Anschlußtypvariationen untersucht. Dabei ist jede Programmfunktion noch einmal im Gesamtzusammenhang anzusprechen.

Der vierte und letzte Schritt beinhaltet die Installation der Software. Parallel dazu werden Abnahmebeispiele ausgeführt. Mit diesen Tests an großen praxisnahen Beispielen wird die letzte Qualitätssicherungsstufe durchlaufen.

In allen Teststufen ist es wichtig, Fehler frühzeitig zu finden. Je später desto aufwendiger ist die Fehlersuche (Bild 4.1) /4.9/.

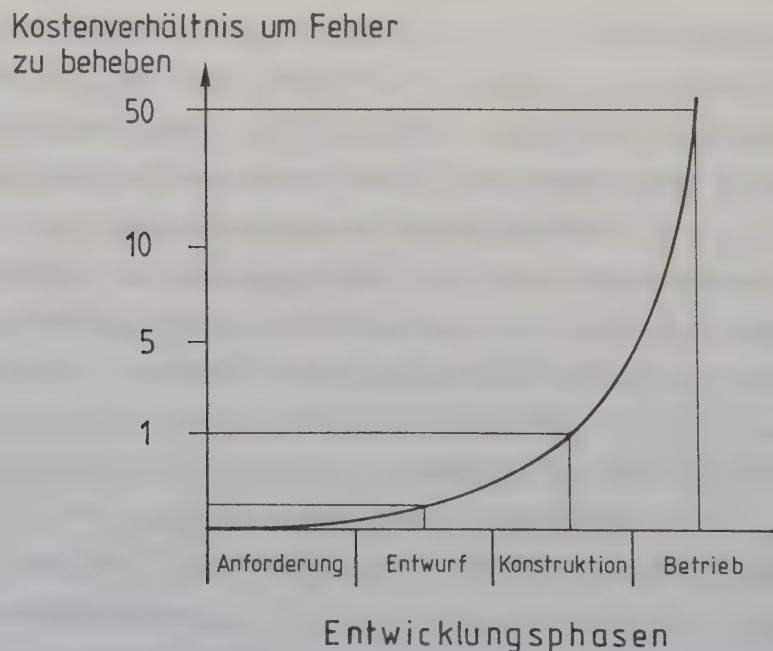


Bild 4.1: Kostenentwicklung der Fehlerbehebung

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Entwurf nach einer 'Bottom-Up'-Methodik auf vielseitig anwendbaren Grundbausteinen aufbaut. Hierdurch wird die Erweiterbarkeit des Systems gewährleistet. Ist ein stabiler Zwischenzustand der Entwicklung erreicht, wird der Entwurf 'Top-Down' vervollständigt. Die überarbeitete Fassung erhält so ein in sich geschlossenes Gesamtkonzept.

5. KONZEPTION UND STRUKTUR VON WISSENSBASEN ENTSPRECHEND DEN ANFORDERUNGEN FÜR SYSTEM- UND INDIVIDUELLE BAUTEN

5.1 Spezielle Wissensbasen für Systembauten

Der Arbeitsaufwand, der für die Erstellung von Wissensbasen für die unterschiedlichsten Konstruktionen geleistet werden muß, hängt im wesentlichen davon ab, wie stark sich die einzelnen Konstruktionselemente gegenseitig beeinflussen. Besteht ein Bauwerk aus vielen unabhängigen Teilen und existiert zu jedem Teil nur eine beschränkte Anzahl von Varianten, können selbst große Konstruktionen recht schnell und einfach in eine Wissensbasis umgesetzt werden.

Systemhallen /5.1/ und Industrieöfen (Bild 5.1) /5.2/, sind Beispiele derartiger Konstruktionsformen.

Wichtigste Arbeit ist zunächst das systematische Erfassen, Katalogisieren und Systematisieren sämtlicher Konstruktionsparameter derartiger Bauwerke. Durch die Beschränkung auf wenige Bauformen kann die Projektabwicklung von der Auftragserteilung bis zum fertigen Werkstück vorausgeplant werden.

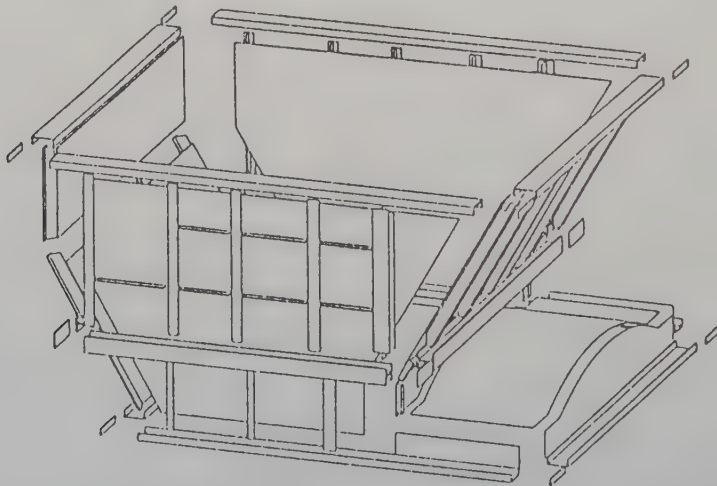


Bild 5.1: Explosionszeichnung:
Brennkammerteil eines Industrieofens

Werden die Konstruktionsregeln im Rechner gespeichert, muß nicht nur die Bauwerksgeometrie aufgenommen werden, sondern auch die Fertigungssystematik. Während des Aufbaus der Wissensbasis müssen die Werknormteile und Teilefamilien erfaßt und eingearbeitet werden, da nur so die CAM-Stufe vollständig mit Informationen versorgt werden kann.

Für den Strukturplan (Bild 5.2) einer Wissensbasis für den Systembau wird ausgenutzt, daß die Teilegeometrie und -lage sowie die Anordnung der Verbindungsmittel vollständig bekannt sind.

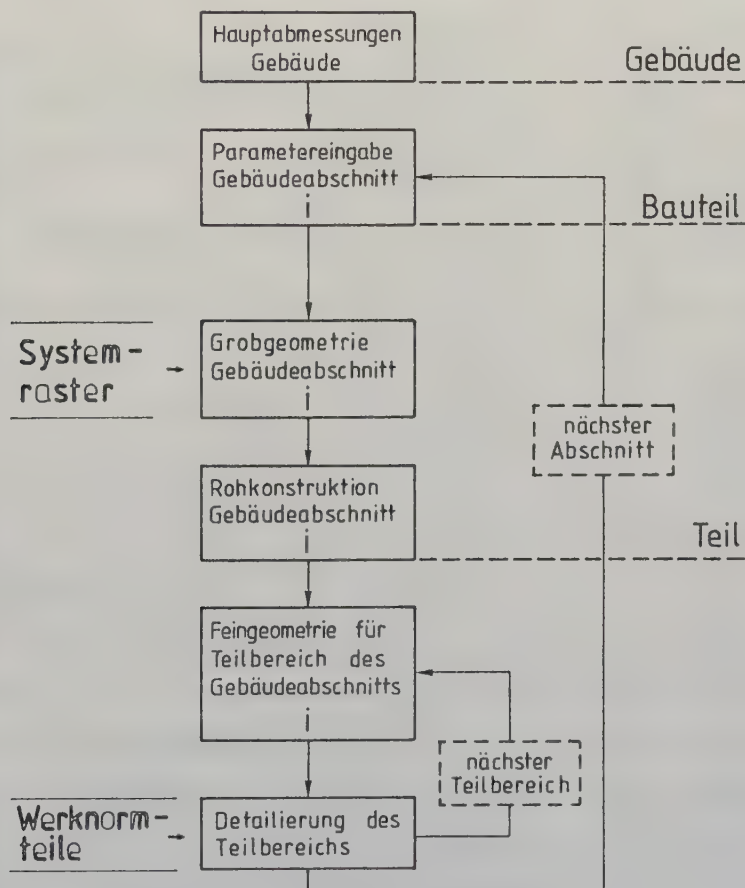


Bild 5.2: Strukturplan für Wissensbasen von Systembauten

Der Anwender gibt dem System dabei nur noch die Aufgabenstellung : 1 Systemhalle (Breite, Höhe.... etc.).

Die Parameter solcher Konstruktionen können in Form von fertigen Eingaberezepten, die nur für den jeweiligen Anwendungsfall richtig ausgefüllt werden müssen, bereitgestellt werden (Bild 5.3). Über einen gesteuerten Abfragedialog können auch die einzelnen Werte automatisch zu einer Eingabe zusammengestellt werden.

```

AUFTRAG:
NR00001
AUFTRAG HANDBUCH
UEBERSICHTSZEICHNUNG,
HANDBUCH
SAMBERG

NFIELD = 6, @ 1. ANZAHL FELDER
NSHIFT = 1, @ 2. ANZAHL SCHIFFE
NEIGG = 5.801, @ 3. DACHNEIGUNG (GRAD)
W = 18880, @ 4. WEITE AUSZENKANTE STAHLRAHMEN PRO SCHIFF (MM)
W1 = W/2, @ 4B. BREITE VORDERE RAHMENHAELFTE (BIS A.K.-STAHL) (MM)
W2 = W-W1, @ 4C. BREITE HINTERE RAHMENHAELFTE (BIS A.K.-STAHL) (MM)
H1 = 6460, @ 5A. TRAUFOEHE VORNE (MM)
H2 = 6780, @ 5B. TRAUFOEHE HINTEN (MM)
L = 35800, @ 6. LAENGE AUSSENKANTE STAHL - AUSSENKANTE STAHL (MM)
ABBL = 2000, @ 7. PFETTENABSTAND (MM)
FPFW = 600, @ 8. FIRSTPFETTEN-ABSTAND (MM)
RASTER = 875, @ 9A. RASTERMASS (PANEELE) (MM)
RASTD = 0.0, @ 9B. RASTER DER DACHDECKUNG FUER LAENGVSVERLEGUNG (MM)
WAUFB = 260, @ 10. ABSTAND AUSZENKANTE STAHL - PANEELE (MM)
B1 = 200, @ 11. BREITE RAHMENFUSZ (MM)
B2 = 600, @ 12. BREITE RAHMEN AN RAHMENECKE LINKS (MM)
B3 = 300, @ 13. BREITE RAHMEN ZWISCHEN VOUTE UND FIRST (MM)
B4 = 600, @ 14. BREITE RAHMEN AN RAHMENECKE RECHTS (MM)
B5 = 81, @ 15. BREITE RAHMENFUSZ RECHTS (MM)
B6 = 500, @ 16. BREITE MITTELSTUETZE (NSHIFT GROESSER 1) (MM)
NVERBD = 2, @ 17. ANZAHL DACHVERBAENDE
NFELD1 = 201, @ 17A. SCHLUESSEL FUER 1. DACHVERBAND
NFELD2 = 205, @ 17B. SCHLUESSEL FUER 2. DACHVERBAND
NFELD3 = 0, @ 17C. SCHLUESSEL FUER 3. DACHVERBAND
NZPROF = 0, @ 18. ANZAHL ZUGBAENDER PRO FELD
ABORT = 1, @ 19. SCHLUESSEL FUER ABSTANDSHALTERANORDNUNG
UMRISS = 1, @ 20. RECHTECK-HALLENUMRISS ZEICHNEN
FIRSTP = 1, @ 21. SCHLUESSEL FUER FIRSTPFETTENVERTEILUNG
NP = 3, @ 22. ANZAHL GLEICHLANGER PANEELN
GASBTN = 0.0, @ 23. GASBETONPARAMETER (0 - OHNE) (MM)
@ =/ 0 IST DIE ELEMENTHOEHE EINZUSETZEN (MM)
GASSTD = 0.0, @ 23A. DICKE DER GASBETONELEMENTE (MM)
@ DICKENANGABE < 0 ==> SEITENWAEDE DURCHLAUFEND
@ DICKENANGABE > 0 ==> LAENGSWAEDE DURCHLAUFEND
WNDHCH = 0, @ 24. HOCHGEZOGENE WAND (0 = OHNE ATTIKA)
@ =/ 0 IST DIE HOEHE UEBER DEM FIRST EINZUSETZEN (MM)
PPOSTEN = 11, @ 25. SCHLUESSEL FUER PPOSTENZEICHNUNG IM DACH
H SOCKL = 440, @ 26. SOCKELHOEHE (MM)
NUMRNG = 1, @ 27. SCHRIFTHOEHE FUER NUMMERIERUNG
@ = 0 OHNE NUMMERIERUNG
@ =/ 0 ALS FAKTOR GEGENUEBER STANDARDSCHRIFTHOEHE
SPABST = 1, @ 28. STEUERPARAMETER FUER EXISTENZABFRAGE
@ (NICHT BENUTZERRELEVANT)
PABST1 = 200, @ 29. PANEELABSTAND IN NEG. X-RICHTUNG LINKS (MM)
PABST2 = 100, @ 30. PANEELABSTAND IN NEG. Y-RICHTUNG VORNE (MM)
PABST3 = 120, @ 31. PANEELABSTAND IN POS. X-RICHTUNG RECHTS (MM)
PABST4 = 120, @ 32. PANEELABSTAND IN POS. Y-RICHTUNG HINTEN (MM)
LTRAUF = 30, @ 33. BREITE DES DACHUEBERSTANDES (MM)
E1 = 50, @ 34. EXZENTRIZITAET STUETZE VORNE LINKS IN X (MM)
E2 = 80, @ 35. EXZENTRIZITAET STUETZE VORNE LINKS IN Y (MM)
@ EXZ. FUER DIE ANDEREN ECKSTUETZEN SIND VORHANDEN
TEXTBA = "BAUSEITS ANPASSEN";

```

Bild 5.3: Ausschnitt aus der Eingabe zur Konstruktion einer Systemhalle (2D) /5.1/

Eine Rückkopplung zwischen der rechnerinternen Darstellung und der Wissensbasis ist dabei nicht notwendig, da bei der Formulierung der Wissensbasis der konstruktive Zusammenhang aller beteiligten Teile und Verbindungsmittel für alle auftretenden Fälle bekannt ist.

Wesentliche Aufgabe ist hierbei die lückenlose Erfassung nicht variabler Geometriewerte, Positionsnummern und Hauptpositionsanordnungen. Soweit möglich muß die bekannte Geometrie von wenigen Variablen abhängig gemacht werden. Die gesamte Geometrie und die Bauwerksstruktur wird mit Hilfsvariablen abgespeichert, die als Voreinstellung aus den Eingangsvariablen hergeleitet werden. Im Sonderfall müssen diese Hilfswerte individuell angesteuert werden, so daß die leichte Änderbarkeit der Konstruktion erhalten bleibt.

5.2 Allgemeingültige Wissensbasen für individuelle Bauten

Steigt die Anzahl der möglichen Varianten an, ist eine geschlossene Darstellung aufgrund der Menge auftretender Konstruktionskombinationen nicht mehr sinnvoll. Als Folge muß die in einem Schritt zu konstruierende Einheit verkleinert werden.

Dies führt zur einzelnen Baugruppe. Schlensker /1.4/ hat unter anderem die Voraussetzungen zur Konstruktion mit Baugruppen und nachgeordneten Teilen geschaffen. Aus der Baugruppe leitet sich der Träger als Konstruktionseinheit ab. Mit diesem Modell konnten in den Anfängen der Entwicklung gute Ergebnisse erzielt werden.

Zweidimensional konstruiert Frank /5.3/ Träger und zugeordnete Einzelteile. Diese Vorgehensweise beruht auf der zeichnerischen Darstellung der verwendeten Teile in Einzel- oder Hauptteilzeichnungen.

In der Praxis treten dabei jedoch erhebliche Probleme an den Schnittstellen verschiedener Zeichnungen auf, da bei der Eingabe Widersprüche erzeugt werden können. Bei zweidimensionaler, rein auf die Zeichnung abgestellter Formulierung des Rechnermodells kann der Zusammenhang einzelner Bauelemente im Bauwerk sehr schlecht nachgehalten werden, so daß die Detaillierungsformulierung auf Teilebene erfolgen muß. Steht aber, wie bei dem in dieser Arbeit verwandten Expertensystem, ein leistungsfähiges dreidimensionales Bauwerksmodell zur Verfügung, sollten die Konstruktionsknoten des Bauwerks als Einheit detailliert werden. Bereits einfache Trägerstöße mit Normteilen sind sonst nicht mehr ohne großen Aufwand durchführbar.

Bei trägerweiser Detaillierung am Stoßpunkt könnte in einem Schritt nur jeweils ein Teil der gesamten Konstruktion ausgeführt werden. Die Folge ist, daß anstelle einer relativ einfachen Normkonstruktion eine freie Konstruktion unter Berücksichtigung der Störteile, die der zuerst generierte Träger erzeugt hat, durchgeführt werden muß. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher die von der Eingabe und programmtechnischen Umsetzung her effizientere knotenorientierte Lösung gewählt.

Als erster Eingabeschritt erfolgt die Eingabe der Gesamtkonstruktion mit undetaillierten Rohteilen, da hiermit viel schneller als bei einer kombinierten Eingabe Zwischenergebnisse wie Rohgewichtsermittlung und -längenbestimmung erzielbar sind. Anschließend wird in einem gesonderten Eingabeschritt knotenweise detailliert.

Ein Knoten ist in diesem Zusammenhang definiert als Bereich aufeinander wirkender Anschlußelemente.

Das von Schlensker vorgestellte Bauteilkonzept wird in diesem Zusammenhang speziell für Anschlußeile, wie zum Beispiel Beiwinkel und Kopfplatten, genutzt. Bei diesen

ermöglicht es die geschlossene Transformation der beteiligten Teile. Auf diese Art und Weise wurden modulare Konstruktionseinheiten geschaffen, welche nicht nur durch ihre Parameterversorgung autark, sondern auch frei platzierbar sind (Bild 5.4).

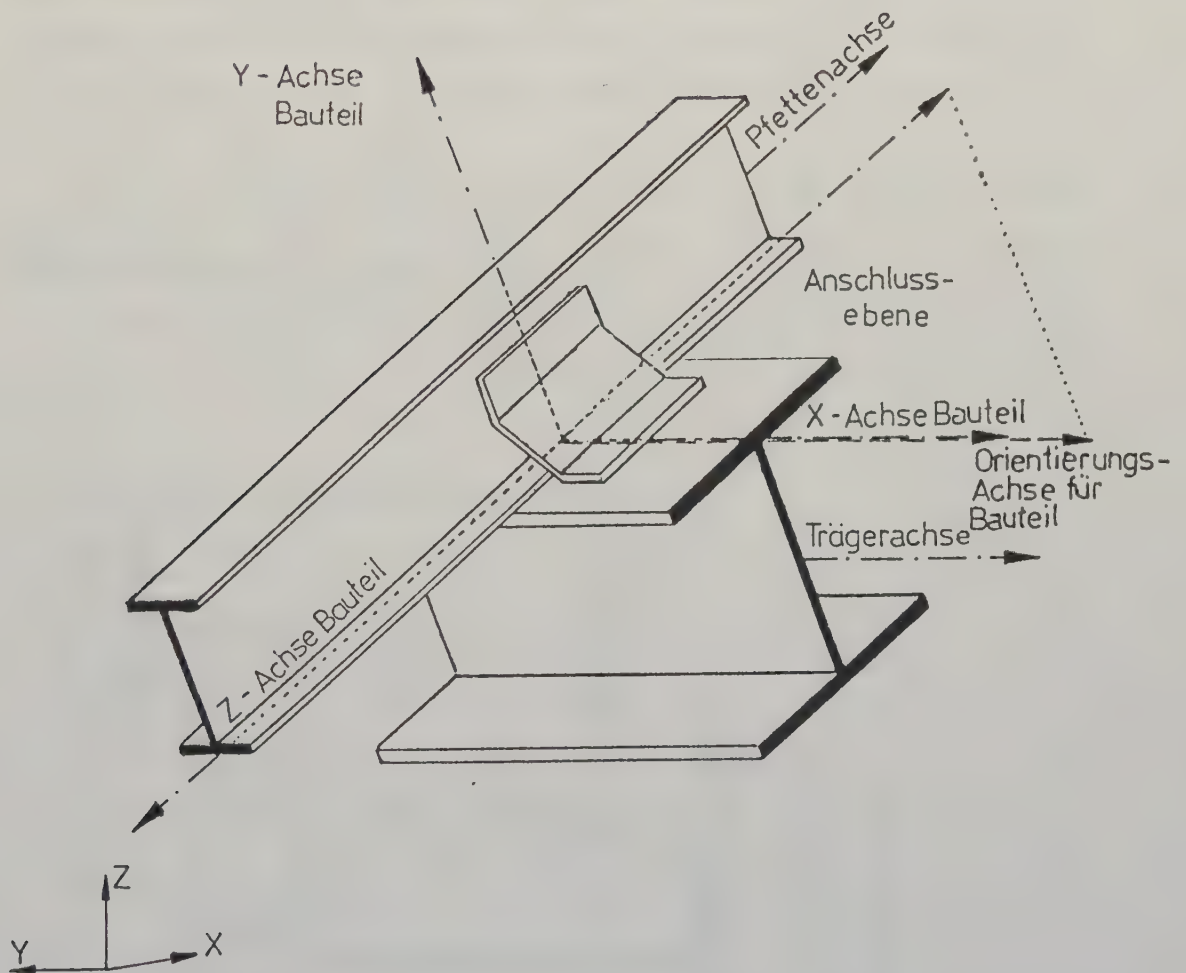


Bild 5.4: Bauteil 'Pfettenwinkel' mit zugeordneten Koordinatensystemen

Die Parametereingabe für Bauwerke wird nur angewandt, wenn das Bauwerk in eine Variantenreihe eingeordnet werden kann. In allen übrigen Fällen erfolgt eine knotenorientierte Eingabe. Diese Eingabeform von Konstruktionsdetails ist sicherlich häufiger anzutreffen. Im Gegensatz zur übergreifenden Lösung ergeben sich dabei aber stets Probleme mit benachbarten Konstruktionen, da deren Ausführung im Augenblick der Bearbeitung eines Knotendetails unbekannt ist und erst methodenseitig berücksichtigt werden muß. Im folgenden werden die Denkschritte beim Konstruieren knotenweiser Konstruktionen weiter untersucht.

Bedingt durch die freie Bauwerksgeometrie gibt es eine unendliche Vielfalt von Konstruktionen, die in der Regel, soweit es sich nicht um Kataloganschlüsse handelt, in der konventionellen Konstruktion für den Einzelfall konzipiert werden (Bild 5.5 bis 5.7).

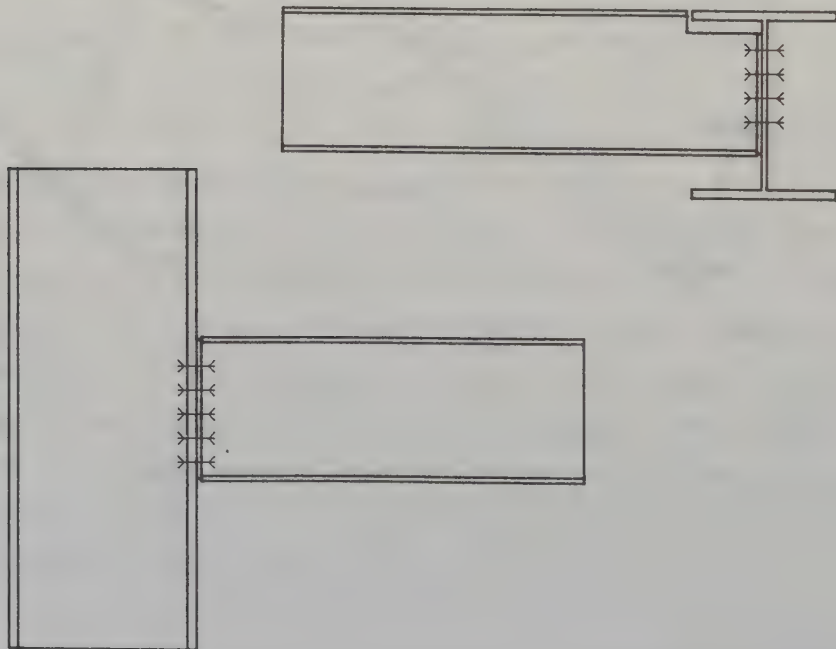


Bild 5.5: Variation der Teilelage

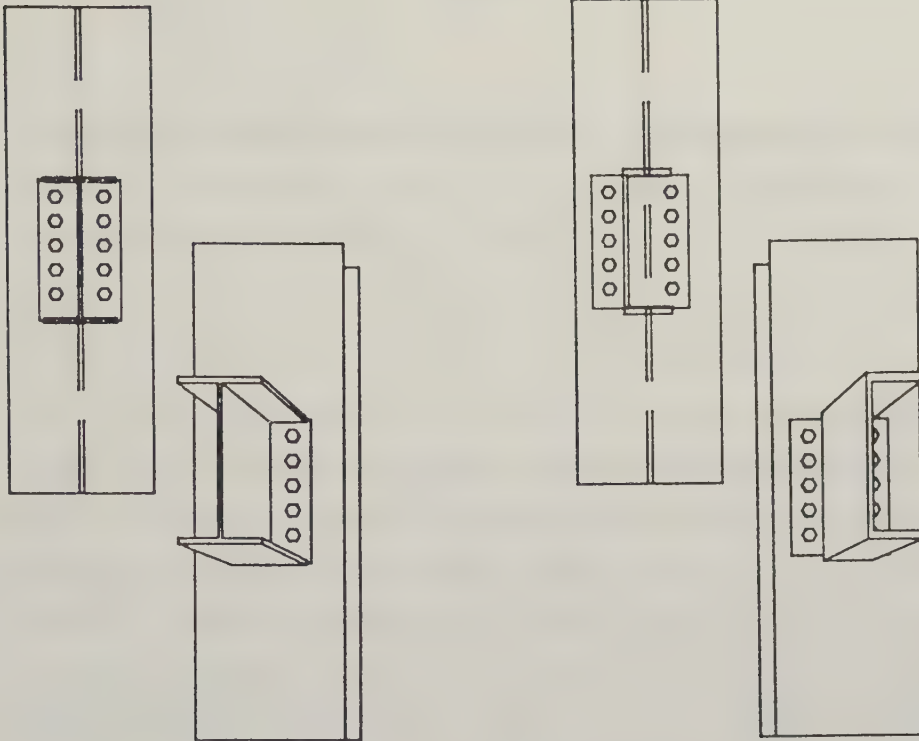


Bild 5.6: Variation der Profile

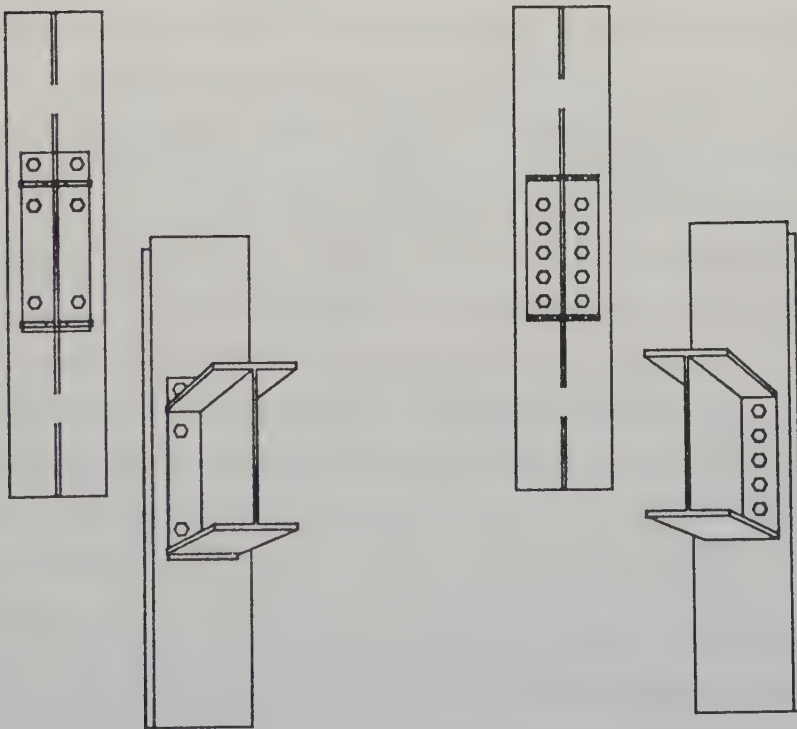


Bild 5.7: Variation der Anschlußspezifikationen

Für Sonderfälle müssen für alle diese Varianten auch noch Schraubendurchmesser, -anzahl, -abstände, -reihen, -art, -struktur, die Anordnung von Steifen und Futterblechen angebbar sein. Die Anschlüsse können beliebig angeordnet werden und beeinflussen sich zum Teil gegenseitig.

In der obersten Auswahlstufe kann nach wirtschaftlichen Kriterien der Anschlußtyp selbst bestimmt werden. Voraussetzung für die Auswahl eines sinnvollen Anschlusses innerhalb eines Konstruktionstyps oder gar für die Bestimmung eines wirtschaftlich einsetzbaren Typs ist die detaillierte Auswertung ausgeführter Konstruktionen. Meist kristallisiert sich nach kurzer Zeit in Zusammenarbeit mit den Konstrukteuren ein für die jeweilige Firma typisches Anwendungsspektrum heraus.

Als Bewertungskriterien für eine gute Konstruktion in Abhängigkeit von der geforderten Tragfähigkeit lassen sich die notwendigen Fertigungsschritte, die Montierbarkeit und die Wiederholhäufigkeit im Bauwerk nennen. Diese Kriterien dienen dazu, den preisgünstigsten Anschluß zu ermitteln. Diese Bewertung ist eine Funktion des Maschinenparks der jeweiligen Firma. Deswegen lassen sich für die Auswahl eines Anschlußtyps aus einer Reihe möglicher Typen nur firmenspezifische Bewertungen angeben.

Verbindungen in Tragwerken können grundsätzlich nach Stößen und Anschlüssen unterschieden werden, je nachdem, ob ein tragender Querschnitt weiterläuft oder endet /5.4/. Diese aus der Statik stammende Definition muß für die Konstruktion mit einem Expertensystem verfeinert werden. Im folgenden werden Bildungsgesetze für Wissensbasen der unterschiedlichen Konstruktionsformen nach ihrem Komplexitätsgrad gestuft dargestellt.

5.2.1 Wissensbasen für Anschlüsse mit Normteilen

Die Konstruktion mit parameterlosen typisierten Teilen stellt die einfachste Grundkonstruktion dar. Aus fertigungstechnischen Gründen sollten diese einfachen Standardanschlüsse so oft wie möglich angewandt werden.

Die Ausführungsregeln dieser Anschlüsse sind in Form von Katalogen zusammengefaßt. Oft benutzte Kataloge sind zum Beispiel die des deutschen Stahlbau-Verbandes (DStV), die Kataloge der Schweizer Zentralstelle für Stahlbau (SZS) und des Österreichischen Stahlbau-Verbandes /5.5, 5.6, 5.7/. Die dort festgehaltenen Rechen- und Geometriewerte lassen sich als Tabellen in der Wissensbasis speichern.

Ein Problem besteht darin, die für den jeweiligen Anschluß erforderlichen Daten mit einem effizienten und schnellen Verfahren zu finden. Dazu werden die Daten unter dem Namen des Normteils als Suchbegriff abgelegt. Dieses Verfahren wird nach der Art des Zugriffs RAS-Zugriff (Random-Access über Schlüssel) genannt. Der Rechenzeitaufwand dieses Verfahrens ist aufgrund der aufwendigeren Speicher-verwaltung höher als bei RAM-Zugriffen (Random-Access mit Marken), bei denen eine rein numerische Zugriffsverwaltung stattfindet /1.2/. Für die Verwaltung der Normteilanschlüsse wurde trotzdem ein RAS-Zugriff gewählt, weil nur so beliebige anwenderseitig eingegebene Schlüssel ohne Gefahr der Mehrdeutigkeit für den Zugriff verwandt werden können.

Eine Schwierigkeit besteht in der Erweiterbarkeit bei gewählter Schlüssellänge. Wird die maximale Schlüssellänge in neuen Katalogen überschritten, muß die Datenbank neu initialisiert werden. Dazu werden die einmal in Dateien eingegebenen Daten nur noch einmal gelesen und neu in die Direktzugriffsdateien eingetragen.

Das gleiche Verfahren ist auch bei der Auslieferung der Datenbanken auf andere Rechenanlagen erforderlich.

Die dazu notwendige Eingabearbeit wird von Servicemethoden in der Wissensbasis automatisch erledigt.

Wie im folgenden gezeigt wird, ist es sinnvoll, über verschiedene Begriffe auf gleiche Inhalte zuzugreifen. Da die erste Liste (Primärschlüssel) der Information eindeutig zugeordnet ist, muß in diesen Fällen eine zweite Liste (Sekundärschlüssel) mit Suchbegriffen angelegt werden (Bild 5.8).

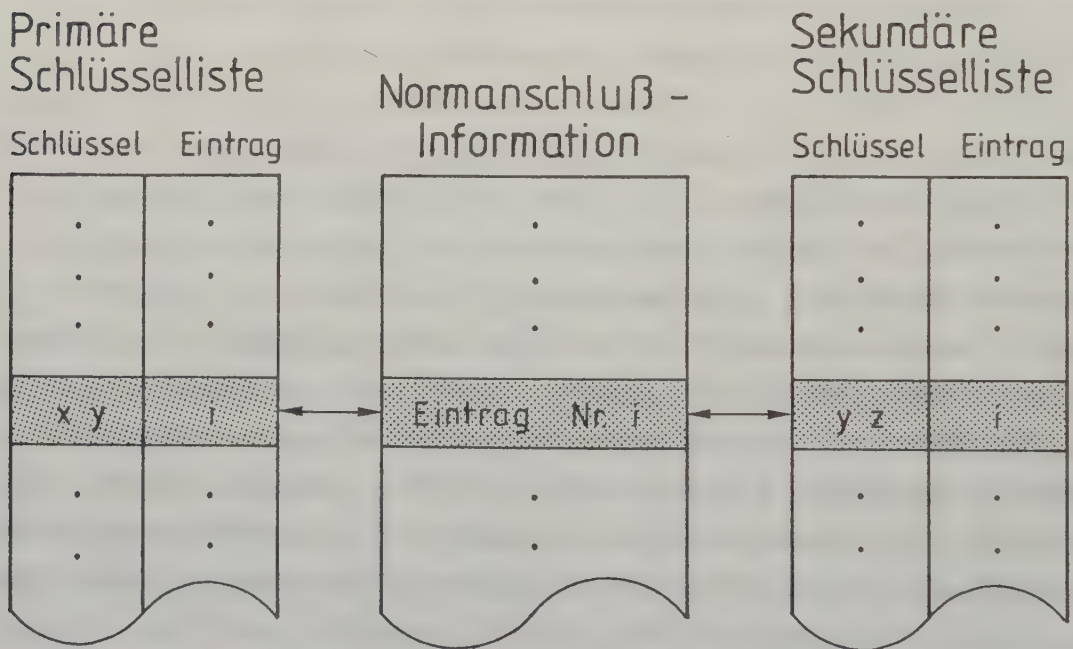


Bild 5.8: Datenverwaltung über mehrere unabhängige Listen

Die problemorientierte Sprache des Expertensystems stellt dem Benutzer alle für die Datei- und Schlüsselverwaltung notwendigen Sprachmittel zur Verfügung.

Diese zunächst theoretischen Überlegungen haben handfeste praktische Bedeutung.

Biegesteife Anschlüsse nach der Schweizer Zentralstelle für Stahlbau oder dem deutschen Stahlbau-Verband sind typische Katalogkonstruktionen. Die Katalogdaten aus dem SZS-Katalog /5.6/ sehen dabei exemplarisch wie folgt aus :

HAU227 ... HEA260 M24 ... Abmessungen m ... Tragwiderstand m

. . .

HAU229 ... HEA260 M20 ... Abmessungen n ... Tragwiderstand n

Dabei dienen die Code-Nummern HAU... als eindeutige Primärschlüssel und die Profilbezeichnungen als Sekundärschlüssel. Der Zugriff auf die Anschlußabmessungen kann also entweder über den Schlüssel HAU... oder über die Profilbezeichnung mit der Eingabe der aufzunehmenden Kräfte erfolgen (Bild 5.9).

Eingabe:

\$1,HT1,HEA200,ST37,1-3,M,V,M; \$1,NT1,IPE220,,2-4;
KN1(1-3,2-4,BIEGESTEIF,'ANSCH=U,NLR=2,MOM=-65,QUER=160',5-6-8);

Protokoll:

KNOTEN 1-3(3) / 2-4(4) >>

```
*****
*   AUSGEFUEHRTER ANSCHLUSSZ :
*
*   CODE-NR.      :PEU212
*   VORH.MOMENT   :   -65.00
*   ZUL.MOMENT    :   -67.20
*                   27.80
*   VORH.QUERKR.  :   160.00
*   ZUL.QUERKR.   :   169.00
*   FLANSCHNAHT   :     5.00
*   STEGNAHT      :     3.00
*   STPL.-BREITE  :   140.00
*   " -DICKE      :    15.00
*   " -HOEHE      :   290.00
*   SCHRAUBEN-BILD
*       A1 :    35.00
*       W1 :    90.00
*       W2 :     0.00
*       W3 :    25.00
*       E1 :    25.00
*       E2 :    80.00
*       E3 :   130.00
*       E4 :    55.00
*   SCHRAUBE M    :    16.00
*
*****
```

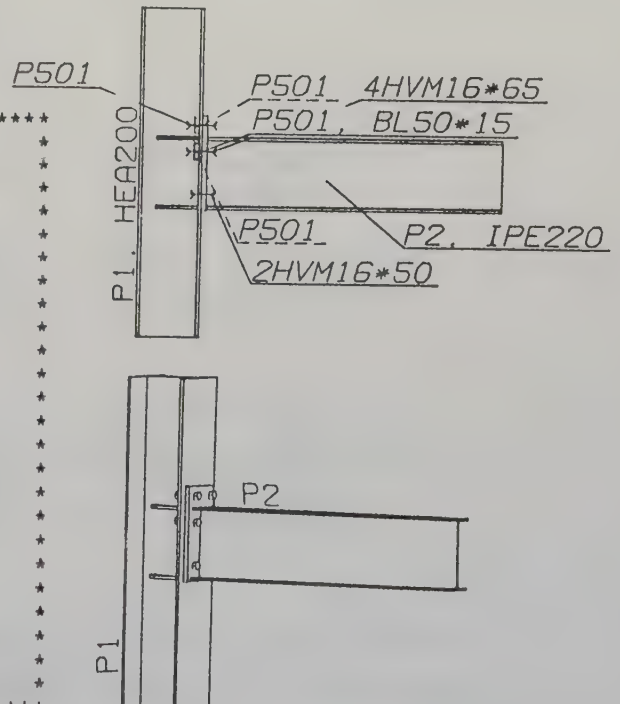


Bild 5.9: Eingabe und Ergebnisse zur Konstruktion mit Normteilen /5.8/

Lösungen entsprechend solchen Katalogen haben den Vorteil, daß sie sehr schnell und einfach sind. Sie sind jedoch nur für einfache Randbedingungen geeignet. Eine Veränderung der Randbedingungen müßte zu neuen Lösungen führen, die nicht im Katalog erfaßt sind. So können schon einachsig schräge Anschlüsse nicht mehr mit Normkopfplatten ausgebildet werden.

Müssen zum Beispiel aufgrund der Geometrie des Hauptträgers die Schraubenabstände in Querrichtung oder Längsrichtung verändert werden, stimmt dies nicht mit dem im Katalog verwandten Rechenmodell überein. Eine Extrapolation der Ergebnisse ist unzulässig.

Das Lösungsprinzip der programmierten Konstruktionsmethoden ist in Bild 5.10 dargestellt.

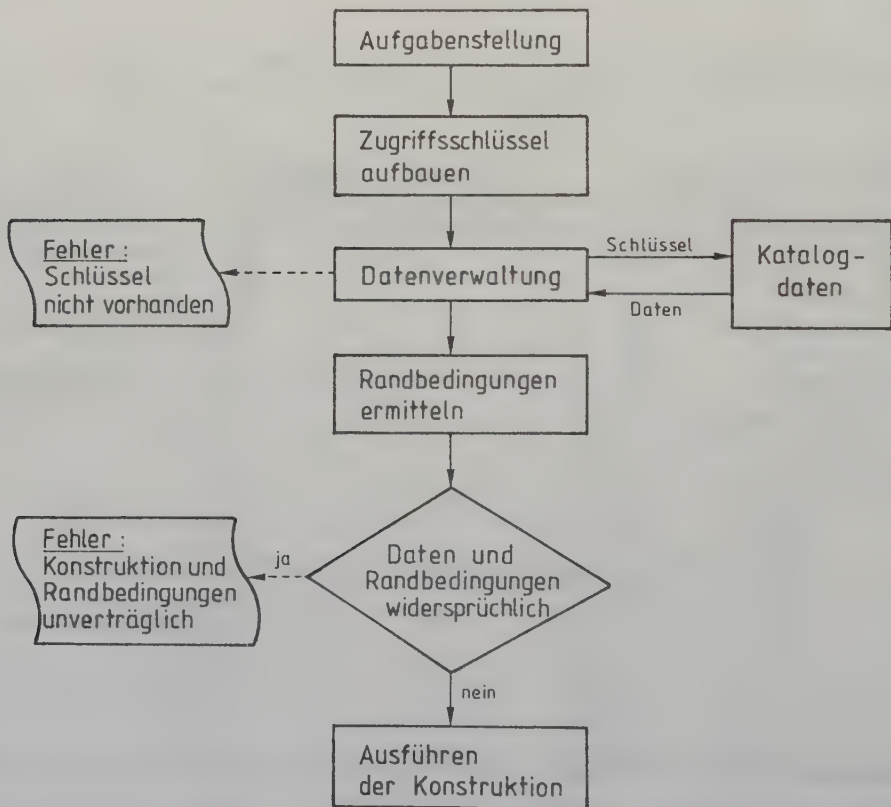


Bild 5.10: Lösungsschema für Normteilkonstruktionen

5.2.2 Wissensbasis für Einzelanschlüsse

In der Praxis treten häufig Anschlüsse auf, deren Variationsumfang so groß ist, daß sie nicht mehr durch Normteile erfaßbar sind.

Zunächst soll der Fall behandelt werden, daß die Anschlüsse frei von Wechselwirkungen mit benachbarten Anschlüssen oder Teilen auszuführen sind. Dies gilt zum Beispiel für schräge Kopfplatten- oder Beiwinkelkonstruktionen mit Abkantteilen (Bild 5.11) /5.9/.

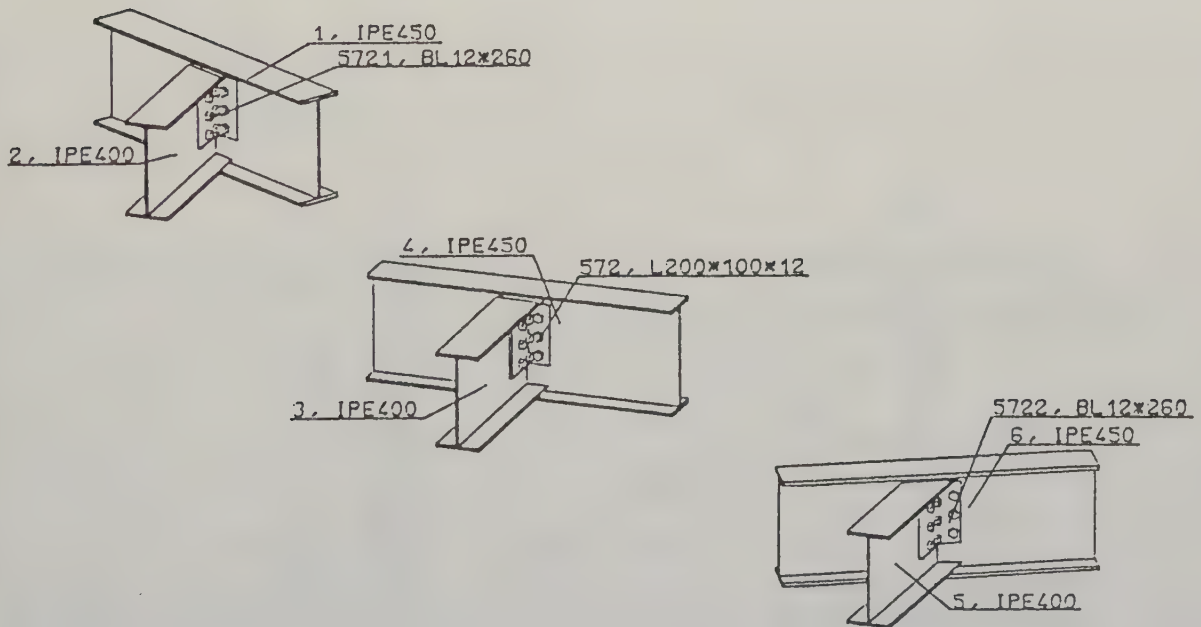
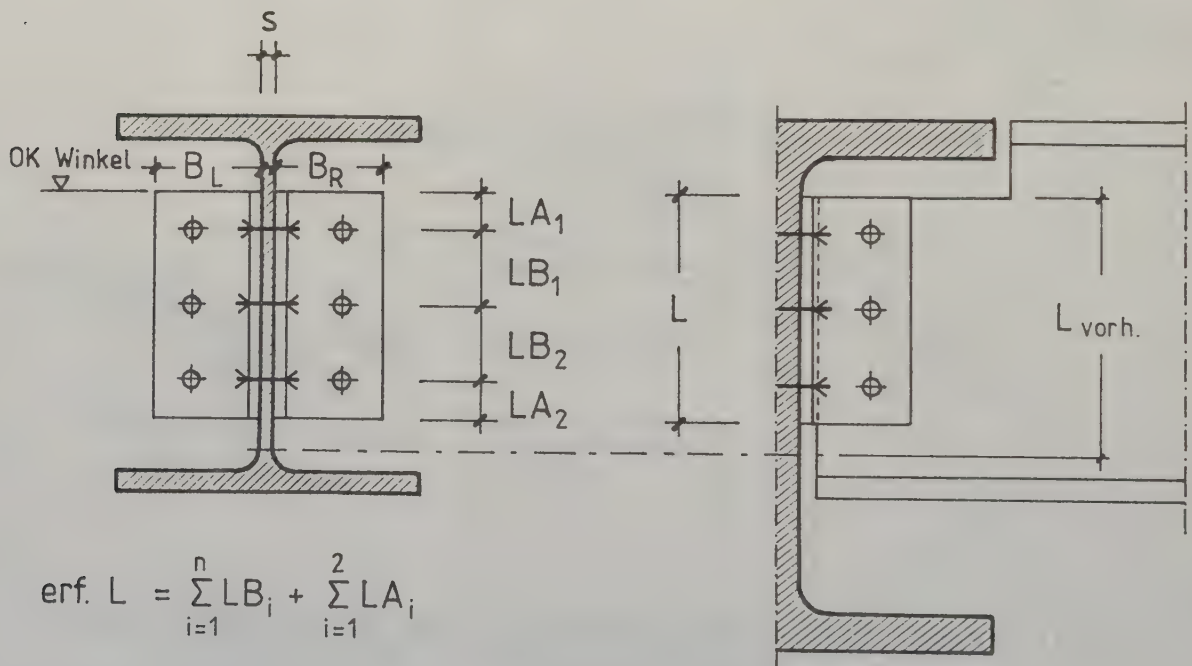


Bild 5.11: Schiefwinkelliger Beiwinkelanschluß mit abgekanteten Blechen.

Die hier behandelten Konstruktionen stimmen nur zum Teil mit Konstruktionen nach Katalogen überein. Im Gegensatz zur Anschlußgeometrie der Kataloganschlüsse, die meist mit Hilfe von Versuchen untermauert und nach Erfahrung gewählt ist, müssen bei frei konstruierten Anschlüssen die Konstruk-

tionsregeln zur Berechnung der Geometrien bekannt sein. Aus diesem Grunde können Katalogkonstruktionen nur in Ausnahmefällen durch eine freie Konstruktion ohne Abweichungen erzeugt werden.

Die freien Anschlußausführungen nehmen ausschließlich Rücksicht auf die Geometrie des Teiles, an das angeschlossen werden soll. Dadurch ist die Anzahl der Randbedingungen, die eingehalten werden müssen, stark eingeschränkt. Wird zum Beispiel ein Träger mit Abkantwinkeln an einen anderen angeschlossen, so läßt sich der erforderliche Anschlußplatz für die Winkel recht leicht aus den Geometrien der Winkel und Schrauben herleiten (Bild 5.12).



$$\text{erf. } L = \sum_{i=1}^n LB_i + \sum_{i=1}^2 LA_i$$

$$\text{erf. } B = B_L + B_R + s$$

Bild 5.12: Maßermittlung eines schiefen Träger-Träger Anschlusses mit Abkantwinkeln

Das zugehörige prinzipielle Lösungsschema zeigt im Verarbeitungsteil eine Schleifenstruktur (Bild 5.13) mit konstruktiven Schlußfolgerungen.

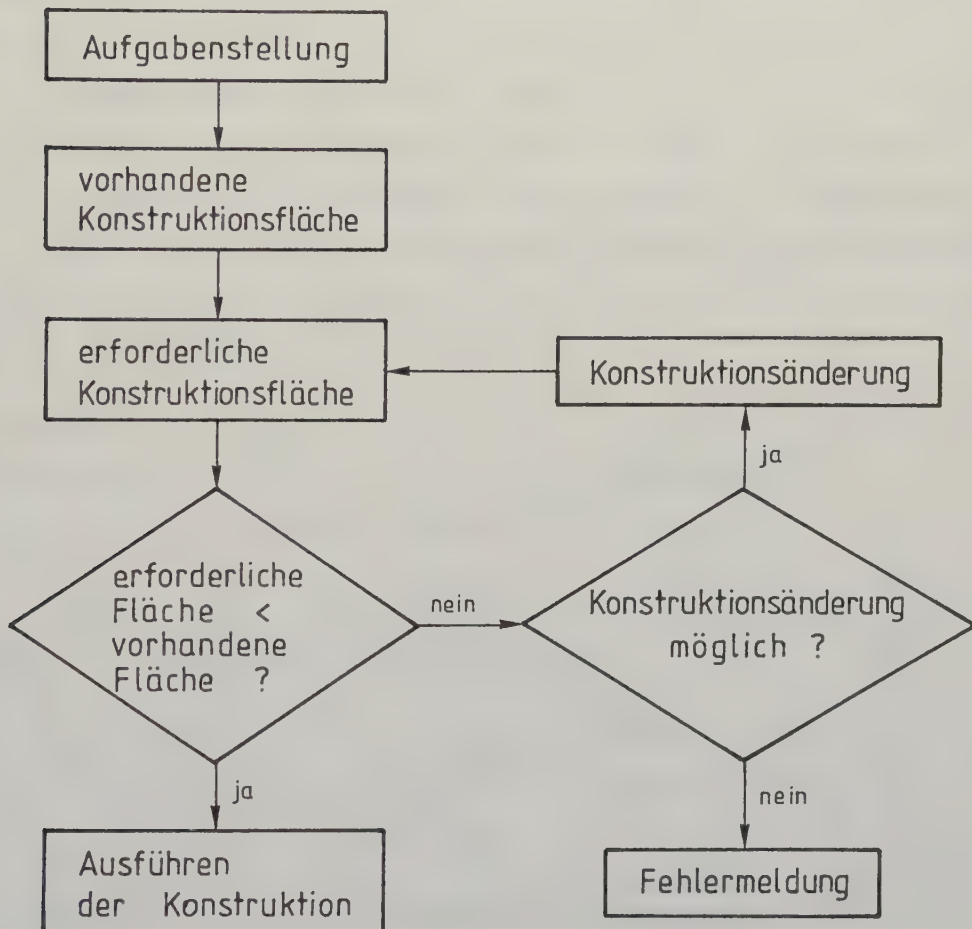


Bild 5.13: Lösungsschema einer ungestörten Konstruktion

5.2.3 Wissensbasis für Anschlüsse mit Wechselwirkungen der Umgebungskonstruktion

Bei Anschlüssen, die durch die Umgebung beeinflusst werden, können folgende Ausführungsarten unterschieden werden:

- an Verbindungen orientierte Anschlußkonstruktionen
- an den Teilen orientierte Anschlußkonstruktionen

5.2.3.1 An Teilen orientierte Konstruktionen

Bei der teileorientierten Konstruktion richtet sich die Logik für die Anordnung der Verbindungsmittel nach der zur Verfügung stehenden Anschlußfläche. Diese errechnet sich aus geometrischen, teileabhängigen Randbedingungen. Wird bei einem Kopfplattenanschluß die Höhe der Kopfplatte vorher festgelegt, werden danach die unterzubringenden Schrauben im Anschlußbereich gleichverteilt. Sollen bei einem Knotenblech rechtwinkelige Kanten erzeugt werden, ergibt sich aus der Geometrie der anschließenden Diagonalen eine feste Anschlußlänge. Auf dieser werden dann die Schrauben ebenfalls gleichverteilt untergebracht (Bild 5.14).

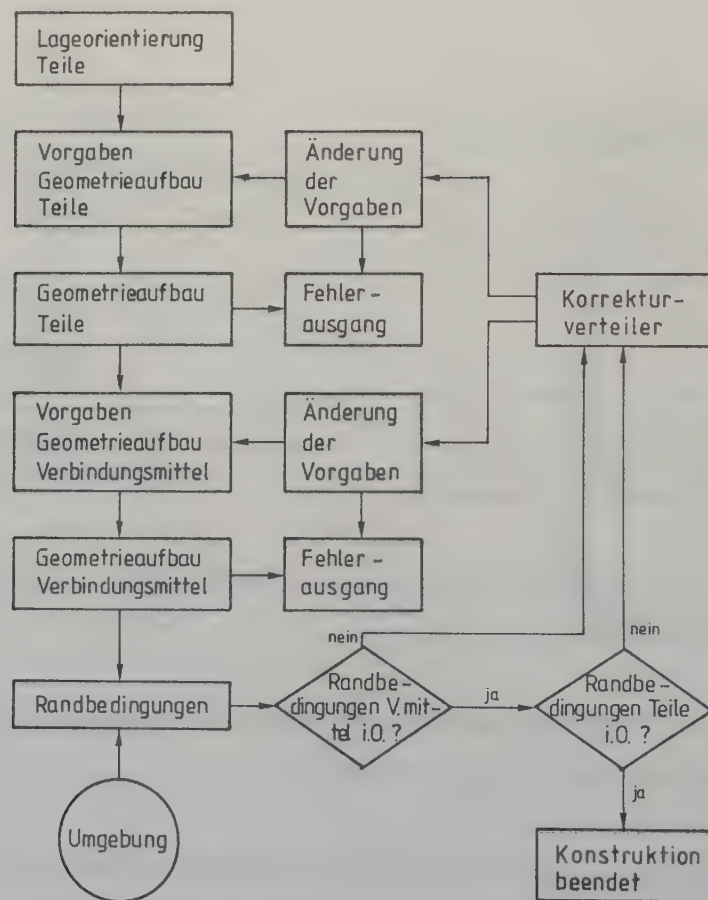


Bild 5.14: Schema einer teileorientierten Konstruktion

Die Analyse des Konstruktionsproblems bei verbindungs-mittelorientierten Konstruktionen bis hin zur allgemeinen Herleitung soll an dieser Stelle zunächst für das obige Beispiel erfolgen.

Der Anschluß zweier L-Profile an ein weiteres L-Profil als Hauptträger könnte Teil eines Funk- oder Leitungsmastes sein. Der Konstrukteur legt für den vorgegebenen Anschlußfall zunächst den Mittelpunkt des Anschlußbildes fest. Danach bestimmt er die Reißmaße der Schrauben und die Schraubenabstände. Dabei kontrolliert er einerseits, ob die zugelassenen Minimal- und Maximalabstände der Schrauben untereinander eingehalten werden, und andererseits, ob die zu verlegenden Profile bei der gewählten Schraubenlage kollisionsfrei angeordnet werden können.

Ein allgemeiner Konstruktionsalgorithmus einer solchen Konstruktion muß entsprechend dem vorher beschriebenen konventionellen Vorgehen zunächst eine Regel für die Lage des Schwerpunktes des Schraubenbildes enthalten.

Die Abstandsmaße der Schrauben werden konventionell nach den entsprechenden Vorschriften aus Naturgrößenzeichnungen ermittelt. In der Wissensbasis werden sie mit einer Funktion $f(\text{Profil}, \text{Schraube})$ berechnet. Dabei kann durchaus der Fall auftreten, daß die zu verwendenden Schrauben mit der Geometrie unverträglich sind, also z.B. der größtzulässige Schraubendurchmesser überschritten wird. Dieses Problem wird in der übergeordneten Konstruktionsstufe oder notfalls mit interaktiver Nachbearbeitung gelöst.

Liegen die Profile räumlich zueinander, kann unter Umständen sogar eine Kollisionsuntersuchung, bei der die beteiligten Teile auf Verschneidungen ihrer Volumina untersucht werden, notwendig werden.

Hat der Konstrukteur festgestellt, daß die beteiligten Teile kollisionsfrei verlegbar sind, also die Randbedingungen eingehalten werden, ist seine Arbeit beendet. Der allgemeingültige Konstruktionsalgorithmus muß dagegen so gestaltet sein, daß auch der Fall der Teilekollision berücksichtigt wird. Hierbei wird zunächst versucht, in einer anderen Schraubenlage die Teilekollision zu vermeiden. Erst wenn sicher festgestellt ist, daß diese Randbedingung in keiner Lage erfüllbar ist, wird sie geändert. Kollidieren die anschließenden Diagonalen miteinander, werden sie so verschnitten, daß die Kollision vermieden wird.

Als letztes wird noch die Verträglichkeit der Ausführung mit den Vorgaben aus den verschiedenen einzuhaltenden Normen überprüft. Durch die jeweils zuletzt eingetretene Geometrieveränderung kann eine der Normen verletzt werden. In DIN 18800 ist zum Beispiel der zulässige Abstand der Schrauben zum Rand und untereinander geregelt. Vergleichbare Festlegungen finden sich Önorm 4600 und für den Mastbau in Önorm 4605. Gemeinsam ist diesen Regelungen, daß die Kraftellipse (Bild 5.16) um die Schrauben nicht angeschnitten werden darf.

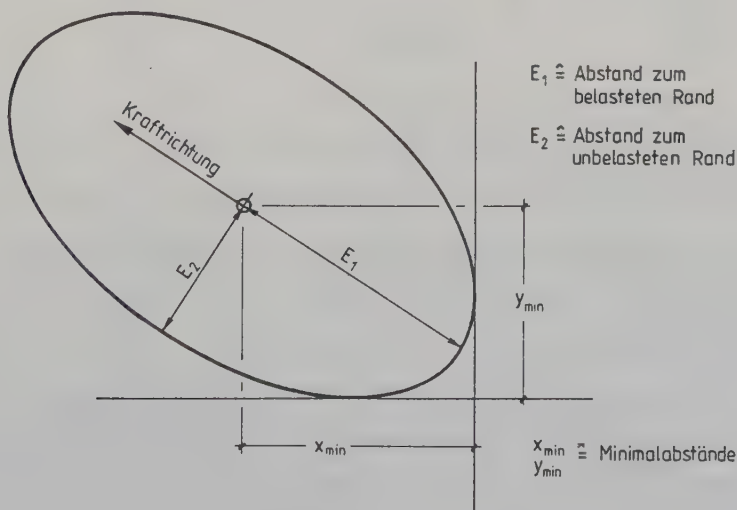


Bild 5.16: Internationales Normenbeispiel 'Kraftellipse'

An dieser Stelle erfolgt ein kontrollierter Rücksprung auf die Eingabeebene, wo vom Benutzer entweder die Schrauben oder die Profile geändert werden können.

Der Algorithmus ist aufgrund der vielen Einzelschritte rechenintensiv. Daher dürfen sie nicht unabhängig voneinander ablaufen, um Doppelberechnungen zu vermeiden. Die in jedem Schritt errechneten Werte werden zwischengespeichert. Das hier verwandte System bietet die Möglichkeit, dafür Hintergrunddatenbanken anzulegen und die Daten auf 'Common'-Variablen abzulegen.

Nachstehend werden die in diesem Beispiel vorgegebenen Arbeitsschritte schematisch zusammengefaßt (Bild 5.17).

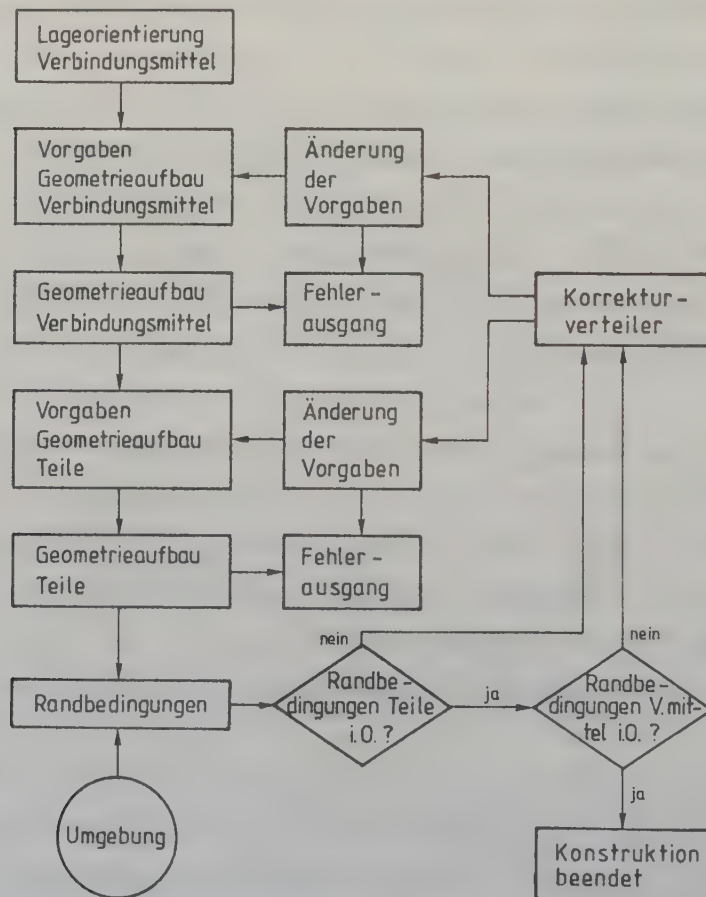


Bild 5.17: Schematischer Ablaufplan einer verbindungs-
mittelorientierten Konstruktion

5.2.3.3 Mathematische Darstellung der Konstruktions- schritte im Konstruktionsprozeß

Anhand des erläuterten Beispiels wird nun der Konstruktionsprozesses mathematisch dargestellt und analysiert (Bild 5.18). Bei der mathematischen Darstellung hilft die Graphentheorie /5.10/.

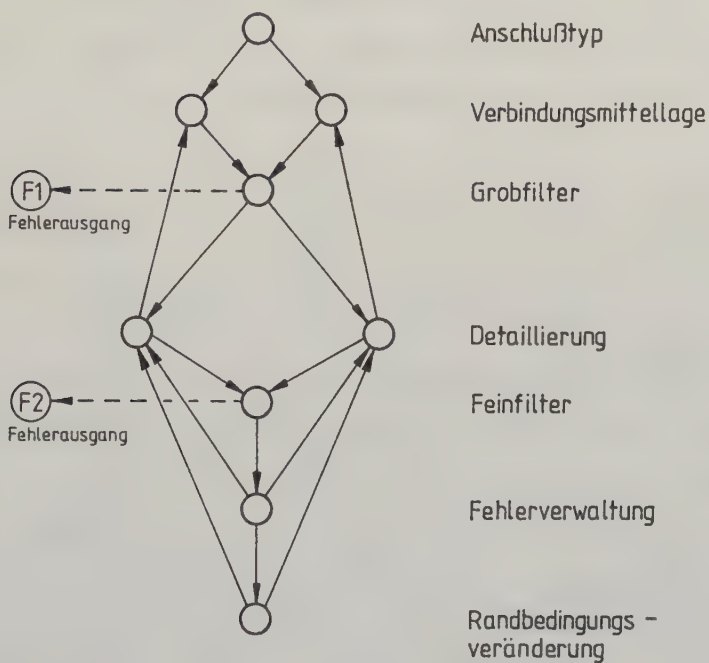


Bild 5.18: Graphendarstellung des Konstruktionsbeispiels

Die Abhängigkeit der einzelnen Konstruktionsteile und Bearbeitungsschritte voneinander, hier repräsentiert durch Knoten, äußert sich durch mehrfache Eingänge in Knoten, Rückverweise der Knoten aufeinander und Ringstrukturen. Programmtechnisch bedeutet dies fallabhängige Parameterversorgung und Interaktion der Module.

Die Ursachen für diese Erscheinungen liegen ausschließlich in der Fehlerverwaltung und Randbedingungsveränderung.

Hier äußert sich die menschliche Verstandisleistung. Ein Konstrukteur wird aus seiner Erfahrung bei der Konstruktion bereits eine Ausführung wählen, von der er annimmt, daß sie ohne Schwierigkeiten einzusetzen ist, oder er wird die Schwierigkeiten frühzeitig erkennen und berücksichtigen. Die Vorgehensweise, Fehlerquellen im nachhinein nach Abschluß der Gesamtkonstruktion zu kontrollieren, ist aufgrund der viel geringeren Wahrscheinlichkeit, daß ein Fehler beim Konstrukteur auftritt, nicht sinnvoll in ein Programm umzusetzen. Ein Rechner braucht bei gleichem Vorgehen zu viele Versuche.

Anders ist dies bei der Trennung der Konstruktion in verschiedene Konstruktionsstufen. Dabei werden die Probleme in so kleine Teile aufgespalten, daß nicht jeder Pfad zu Ende verfolgt werden muß.

Wird ein erreichter Zwischenzustand für unverträglich mit den Vorgaben befunden, muß der letzte gültige Zustand wieder hergestellt werden. Diese Vorgehensweise wird mit dem Fachbegriff 'Backtracking' umschrieben. Soll die Bearbeitung an einem vorab definierten Punkt wieder aufgenommen werden, muß nicht nur der verfolgte Konstruktionspfad gespeichert sein, um ihn zurückverfolgen zu können. Wichtiger ist, daß alle zwischendurch angewandten Konstruktionsregeln reversibel sind. Daraus folgt, daß sich nur bestimmte Konstruktionszustände als Rückführungspunkte eignen, da die Konstruktionselemente in Gruppen angewandt und demzufolge auch nur in Gruppen rückgängig gemacht werden können.

Rückführungspunkt kann nur ein Zustand sein, in dem die Auswahl der nächsten Konstruktionselemente erfolgen soll. Die Entscheidung für die Anwendung der einen oder anderen Gruppe von Konstruktionsregeln übernehmen Verteilermodule als Metaregeln. Ein Verteilermodul muß aufgrund der Vorinformationen der verschiedenen Detaillierungen den

"vielversprechendsten" Weg zuerst einschlagen und ersetzt somit im Grunde die Erfahrung des Konstrukteurs. Diese Bausteine der Wissensbasis enthalten viele Entscheidungsregeln und Vorbelegungen, die nur aufgrund einer bestimmten Firmensituation so und nicht anders lauten müssen. Die heuristischen Elemente des Verteilers werden in firmenspezifisch änderbaren Tabellen zusammengefaßt. Die Wirkung der Verteiltermodule erläutert Bild 5.19.

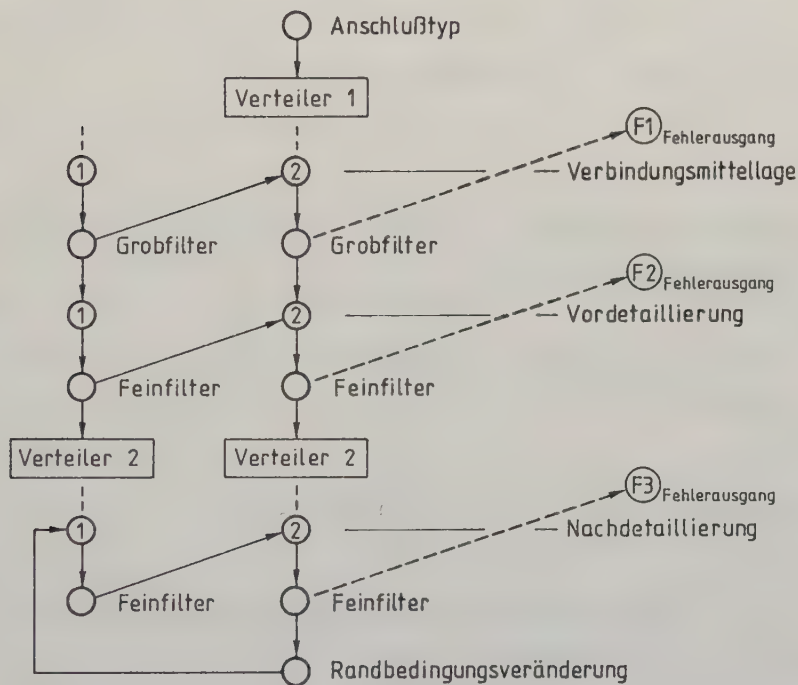


Bild 5.19: Kontrolle des Konstruktionsablaufs durch Verteiler

5.2.3.4 Anwendbarkeit von Entscheidungstabellen

In verschiedenen Arbeiten wurde die programmtechnische Umsetzung der Entscheidungsregeln in Entscheidungstabellen vorgeschlagen /1.11,5.11/

Haupteinsatzgebiet der Entscheidungstabellen sind wirtschaftswissenschaftliche Fragestellungen, bei denen der Verknüpfungsgrad der Entscheidungen untereinander geringer ist als bei komplexen technische Zusammenhängen. Anhand des Eingangsbeispiels wird im folgenden die Einsetzbarkeit und Anwendungsgrenze der Entscheidungstablentechnik erläutert. Von Interesse ist hier nur die prinzipielle Vorgehensweise. Ausführlich ist die Entscheidungstablentechnik in /5.12,5.13/ dargestellt.

Zunächst werden dazu die Kontrollfragen (Q) mit den zugehörigen Aktionen (A) aufgestellt:

Q1: Schraubendurchmesser größer als Maximaldurchmesser laut Reißmaßtabelle ?

ja ==> A1: Anderes Ringstabprofil !

Q2: Kollidieren Stäbe mit Ringstab ?

ja ==> A2: Schrauben auf äußerstes Reißmaß !

nein ==> A4: Ende !

Q3: Kollidieren Stäbe mit Ringstab, wenn Schraube auf äußerstem Reißmaß ?

ja ==> A3: Abschnitt der Enden !

nein ==> A4: Ende !

Zur Vereinfachung der Darstellung wurden die Kontrolle der Schraubenabstände und der Kollision der beteiligten Diagonalen aus der Betrachtung herausgenommen.

Der zugehörige Entscheidungsbaum sieht dann wie folgt aus :

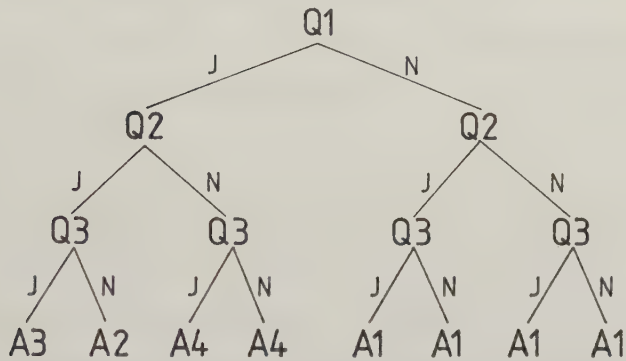


Bild 5.20: Vollständiger Entscheidungsbaum

Leicht erkennbar muß das Ringstabprofil gewechselt werden (Aktion A1), wenn die Schrauben nicht unterzubringen sind. Diese Aktion ist unabhängig von den anderen Bedingungen. Der Entscheidungsbaum läßt sich daraufhin wie folgt vereinfachen :

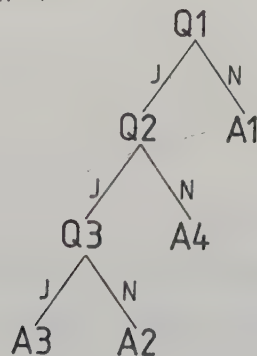


Bild 5.21: Reduzierter Entscheidungsbaum

Die Entscheidungsbäume lassen sich auch als Matrizen ausdrücken. Die Matrizen enthalten überall dort eine 1, wo die Antwort ja lautet.

Reduzierte
Entscheidungsmatrix :

$$\begin{matrix} \begin{matrix} Q1 \\ Q2 \\ Q3 \end{matrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{matrix} A3 & A2 & A4 & A1 \end{matrix}$$

1 $\hat{=}$ ja
0 $\hat{=}$ nein

Die Matrix enthält trotz des reduzierten Entscheidungseinstiegs bei Q1 immer noch Elemente, die unabhängig voneinander sind. Legt man nun bestimmte Entscheidungen zugrunde, so gibt es Fälle, die in der Matrix 1 nicht enthalten sind (z.B. die Spalte 0,1,0), da sich Frage Q2 bei negativer Antwort auf Frage Q1 erübrigt.

Um diese Fälle auszufiltern, kann eine sogenannte Maskentechnik (rule mask technique) vorgeschaltet werden.

Die Maskenmatrix enthält entsprechend zur Regelmatrix an den Stellen, wo 0 'nicht beachten' bedeutet, eine 0. Für das gegebene Beispiel erhält diese Matrix die folgende Form:

Maskenmatrix :

$$\begin{matrix} \begin{matrix} Q1 \\ Q2 \\ Q3 \end{matrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} A3 & A2 & A4 & A1 \end{matrix}$$

Sortiert nach absteigender 0 - Anzahl (= zunehmende Abfragenanzahl in der Maskenmatrix) erhält man:

Sortierte Matrizen :

	Regelmatrix	Maskenmatrix
	$\begin{matrix} \begin{matrix} Q1 \\ Q2 \\ Q3 \end{matrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ $\begin{matrix} A1 & A4 & A2 & A3 \end{matrix}$ $\bar{R}$	$\begin{matrix} \begin{matrix} Q1 \\ Q2 \\ Q3 \end{matrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ $\begin{matrix} A1 & A4 & A2 & A3 \end{matrix}$ $\bar{M}$

Steht die Entscheidungsregel Q_i zur Entscheidung an, so sind dann keine weiteren Untersuchungen notwendig, wenn der zugeordnete Wert der Maskenmatrix = Null ist. Eine Aktion J wird ausgeführt, wenn die aktuelle Belegung der Werte $Q[i]$ mit den Werten der Spalte J der Regelmatrix übereinstimmt.

Wie meist bei derartigen mathematischen Modellen hat auch die Anwendung der Entscheidungstabellen den schwerwiegenden Nachteil, daß die Tabellen mit der Anzahl der Bedingungen extrem wachsen. Sie können über Reduktionen nur mühsam in praktikable Anwendungsgrößen gebracht werden. Hinzu kommt die Tatsache, daß im Konstruktionsbereich die Randbedingungen durch ablaufende Untersuchungen verändert werden, also die Tabellen ebenfalls verändert werden müssen.

Eine Lösung bietet die Hintereinanderschaltung von verschiedenen Entscheidungstabellen, verbunden mit einer Vorauswahl sinnvoller Entscheidungsbereiche nach geometrischen und strukturellen Kriterien.

Untergeordnete Teilprobleme wurden in der praktischen Anwendung so gelöst. Die Gesamtstruktur komplizierter Konstruktionsprobleme läßt sich dadurch nicht bewältigen, da es sich dabei um kombinatorische Problemstellungen handelt, deren Abhängigkeiten nicht sinnvoll algorithmisch erfaßbar sind /5.14/. Dieser Effekt wird bereits an dem zuvor erläuterten Beispiel deutlich. Würde die Anzahl der Regeln auf zehn erhöht, enthält die vollständige Regelmatrix bereits mehr als tausend Elemente.

Aus diesem Grunde wird die Reihenfolge der bei der Entscheidungsfindung zu verfolgenden Zweige nach der Firmenkonstruktionserfahrung festgelegt. Damit werden im täglichen Gebrauch der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Anwendungsmethoden fehlerfreie Ergebnisse erzielt.

5.2.4 Wissensbasis für Mehrfachanschlüsse mit gegenseitiger Beeinflussung

Liegt eine Konstruktion vor, die mehr als einen Nebenträger berücksichtigen muß, wie z.B. Verbandskonstruktionen (Bild 5.22), so muß zunächst das für die Konstruktionsgeometrie maßgebende Teil gefunden werden. Mitunter beeinflussen auch mehrere Teile gleichberechtigt einen Anschluß.

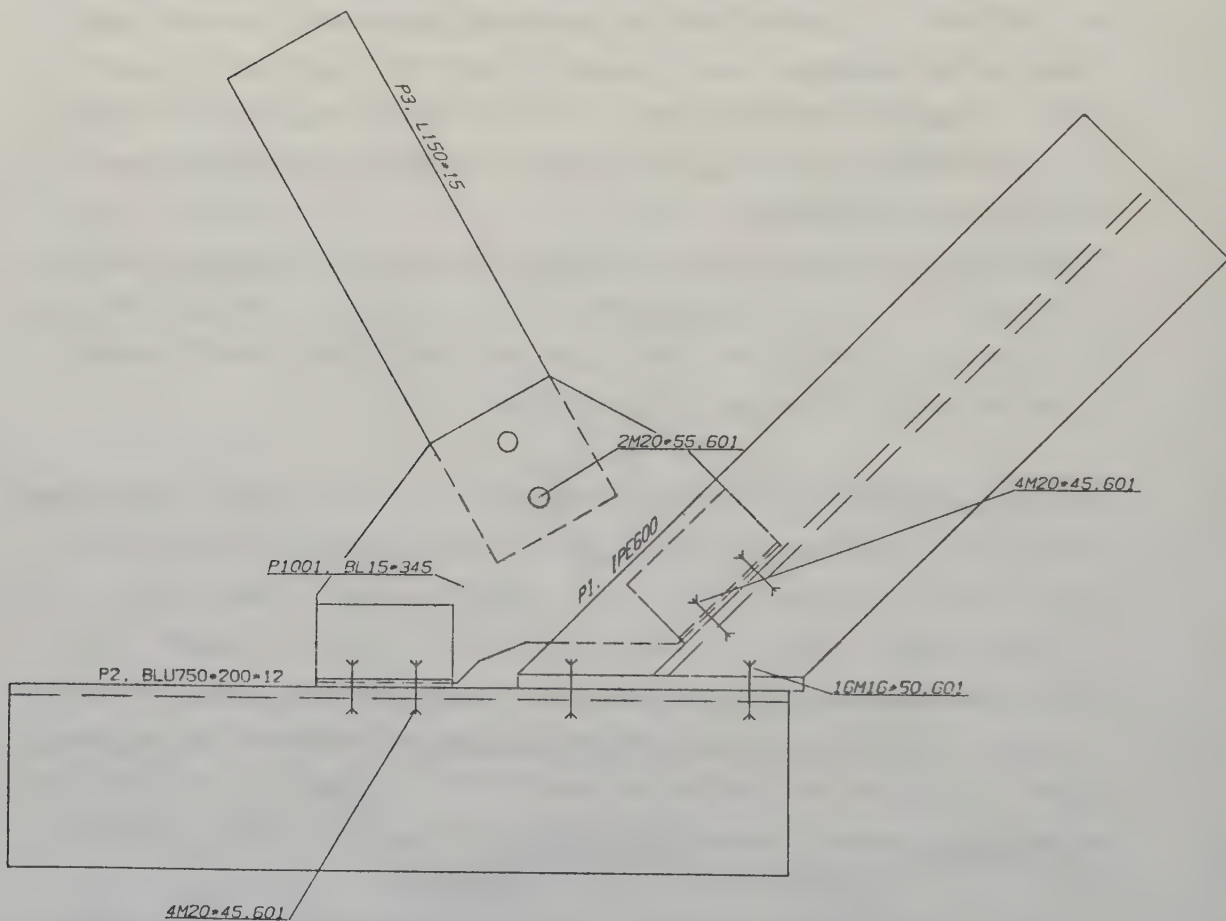


Bild 5.22: Verbandsanschluß an zwei Hauptträger

Die Bearbeitung von Mehrfachanschlüssen setzt die Bearbeitung einzelner Anschlußteile voraus. Aus diesem Grunde sind programmtechnisch die Methoden für Mehrfachanschlüsse ausschließlich Verwaltungsmethoden, die die Methoden der Einfachanschlüsse mit Werten versorgen.

Als Ausführungsbeispiel sei die teileorientierte Schraubengleichverteilung bei Anschlüssen, die sich gegenseitig beeinflussen (vergl. 5.2.3.1) genannt. Dies gelingt nur durch ein schrittweises Vorgehen, bei dem zunächst die Anschlußmaximalwerte der beteiligten Partner ermittelt werden. Mit diesen Werten kann anschließend eine gemeinsame Verteilungsfläche errechnet werden (Bild 5.23).

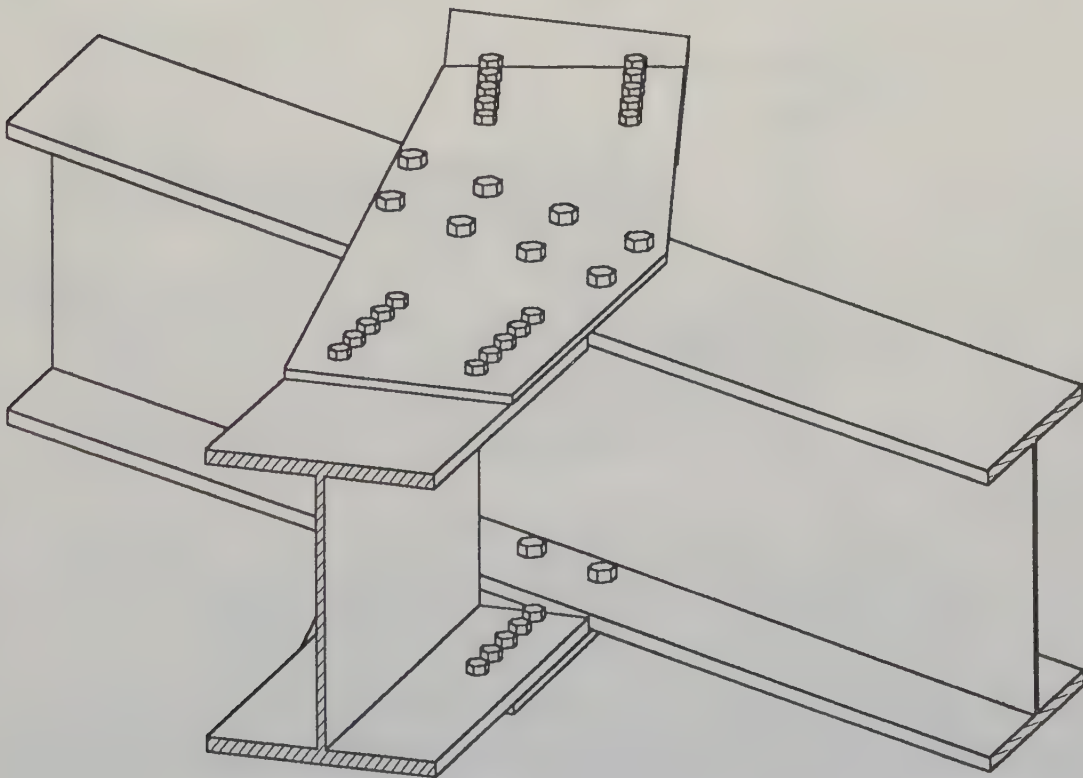


Bild 5.23: Zweiseitig beeinflusste Verteilungsfläche
- die Schrauben richten sich nach dem Blech

Ein analoges Verfahren gilt auch für eine verbindungsmit-
telorientierte Ausführung (Bild 5.24).

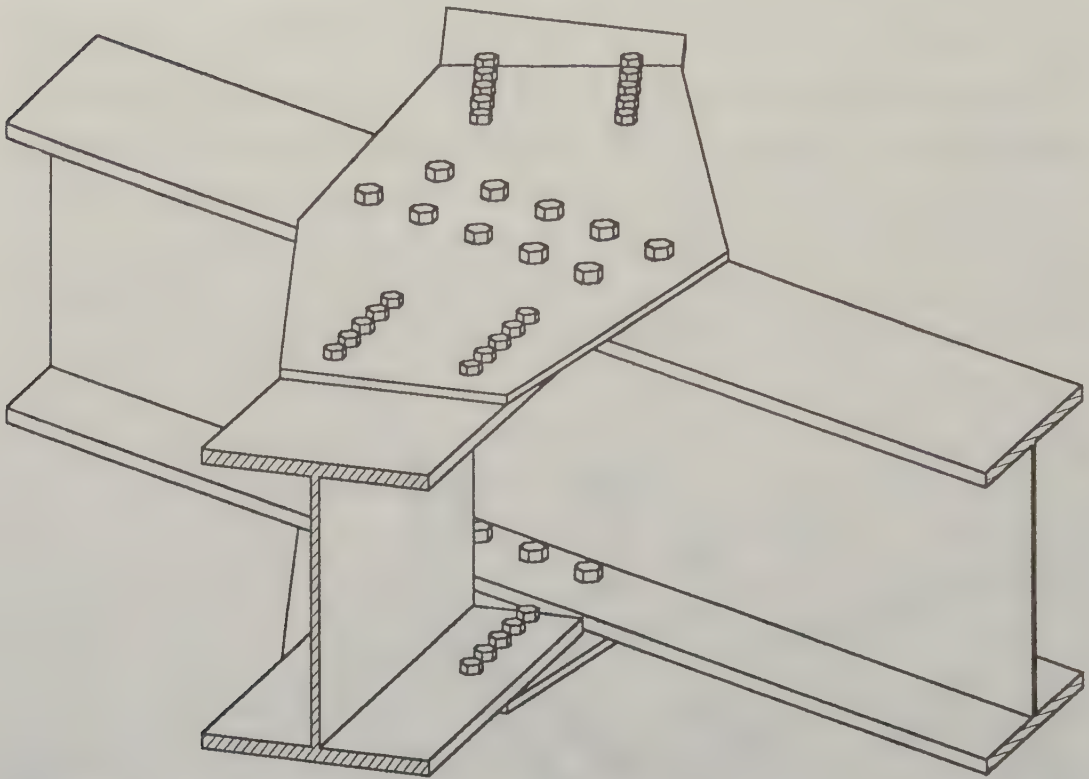
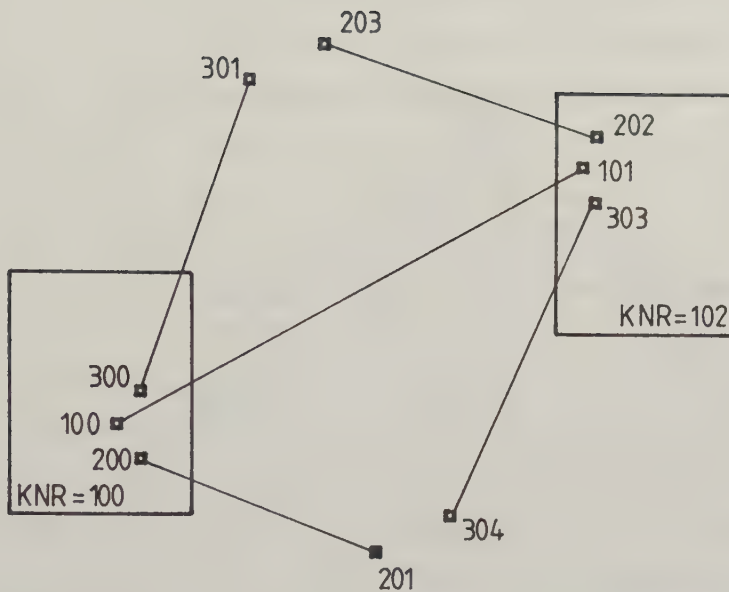


Bild 5.24: Zweiseitig beeinflusste Verteilungsfläche
- das Blech richtet sich nach den Schrauben

Selbst im einfachen Stahlhochbau kommen sehr häufig Kon-
struktionen vor, bei denen die Ausführung an einem Knoten
von mehr als einem Anschluß abhängt.

Da gegebenenfalls verschiedene Konstruktionsteile kollidieren, müssen die Informationen aus allen Teilkonstruktionen an gemeinsam zugreifbarer Stelle gesammelt werden. Im folgenden soll die zugehörige Datenstruktur erläutert werden (Bild 5.25).



KNR	ANZ			
100	3	100 - 101	200 - 201	300 - 301
102	3	100 - 101	202 - 203	303 - 304

Stab - Nr.	Anschluß Stabanfang	Anschluß Stabende	Anfangs- knoten	Endknoten
100 - 101	1	2	KNR = 100	KNR = 102
200 - 201	3	4	100	-
300 - 301	5	6	100	-
202 - 203	7	8	102	-
303 - 304	9	10	102	-

Anschluß	KNR	Hauptteil- liste	Neben- trägerliste	Anschluß- parameter	Folge- anschluß
1	100				
2	102				
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Bild 5.25 Datenstruktur der Anschlußinformations-
verarbeitung

Die Datenstruktur enthält übergeordnet Knoten. Beeinflussen sich Anschlußdetails gegenseitig, bilden sie einen gemeinsamen Knoten. Die Knotennummern können frei vergeben werden. Voreingestellt ist die Nummer des geometrischen Punktes, an dem sich der Knoten befindet. Dem Knoten werden die Teile zugeordnet, die an ihn anschließen. Korrespondierend zu diesen Stabdaten werden die eigentlichen Anschlußdaten abgespeichert. Knotendaten, Stabdaten und Anschlußdaten werden gleichberechtigt behandelt und mit entsprechenden Rückverweisen versehen. Das bedeutet, der Zugriff auf jedes Element kann von allen anderen Elementen aus erfolgen. Würde das Modell ausgehend von den Knoten hierarchisch aufgebaut, könnten die Rückverweise entfallen. Eine derartige Speicherstruktur ist zwar schneller, aber korrekturnfreundlich.

Mittels Kommunikationsmakros werden die Anschlußinformationen der einzelnen Detailkonstruktionen aufgesammelt und können, von den übergeordneten Verwaltungsmakros aufbereitet, im nächsten Detailschritt wieder zur Verfügung gestellt werden.

Ein Anwendungsfall für das erläuterte Verwaltungsmodell ist der Anschluß eines Knotenblechs an eine Kopfplatte. Die Anschlußwerte sowohl der Kopfplatte als auch des normalen Knotenblechs werden gespeichert, die maßgebenden Werte ermittelt und anschließend eine gemeinsame Fassung erstellt. Dabei kann der Fall eintreten, daß das Knotenblech an die Platte angepaßt werden muß, aber auch umgekehrt der Fall, daß die Platte gelöscht und breiter neu generiert wird (Bild 5.26).

Ein Konstrukteur, der herkömmlich einen solchen Konstruktionspunkt bearbeitet, sieht natürlich auf den ersten Blick, an welchen Stellen sich Konstruktionselemente gegenseitig beeinflussen und wie ein Anschluß noch möglich ist.

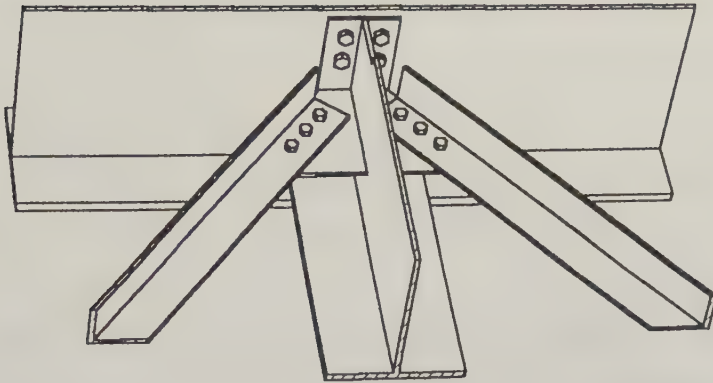


Bild 5.26: Wechselwirkung Kopfplatte - Knotenblech

Würde sich der Konstrukteur das, was er erkennt, Schritt für Schritt aufschreiben, so käme dabei für den Anschluß etwa folgender Gedankengang heraus :

1. Das Knotenblech des Verbandsanschlusses kann an die Kopfplatte anschließen, dabei müssen aber die Schrauben vertikal ausweichen.
2. Der Winkel, unter dem die Diagonale angeschlossen wird, ist so klein, daß das Knotenblech an die Platte angepaßt wird.

Diese Überlegungen, die ein Konstrukteur fast unbewußt und leichthin anstellt, sind für die automatisch durchgeführte Konstruktion ein beachtlicher Schwierigkeitsgrad.

Im folgenden Kapitel wird hierzu erläutert, wie die aktuell eingegebene Geometrie in der Wissensbasis ausgewertet wird, um zu bestimmen, welche Flächen als Anschlußflächen in Frage kommen.

6. ERRECHNEN VON GEOMETRIEINFORMATIONEN

Im vorhergehenden Kapitel wurden die für die Konstruktion notwendigen Informationen für ein typisches Anschlußproblem angesprochen. Darin sind Regeln für die allgemeine Anschlußausführung enthalten und Daten, die den Einfluß aktueller Randbedingungen repräsentieren.

Mit Hilfe der Randbedingungen ergibt sich eine spezielle aus einer allgemeinen Lösung. Im folgenden wird gezeigt, wie aus der Konstruktionsdatenbank aktuelle Randbedingungen ermittelt und in der Wissensbasis ausgewertet werden. Die Randbedingungen können geometrischer Art (z. B. zur Verfügung stehender Anschlußbereich) oder technologischer Art (z. B. Schraubendaten) oder anschlußspezifisch (z. B. statisch zulässige Werte) sein.

6.1 Errechnen von Informationen aus Profildaten

Anhand eines Beispiels, dem Ausklinkvorgang, soll gezeigt werden, wie die Regeln zur Ausführung einer Konstruktion algorithmisch formuliert und mit der aktuellen geometrischen Anschlußsituation verknüpft werden.

Eine Ausklinkung soll einerseits geometrische Körper-Körper Kollisionen vermeiden, andererseits kann sie auch aus montage-technischen Gründen notwendig werden, um zum Beispiel die Montierbarkeit einer Schraube zu sichern. Zur Vereinfachung der Darstellung wird die normalerweise auftretende Vielfalt der möglichen Ausklinkungen (Bild 6.1) auf den Anwendungsfall 'Bühnenlage' beschränkt.

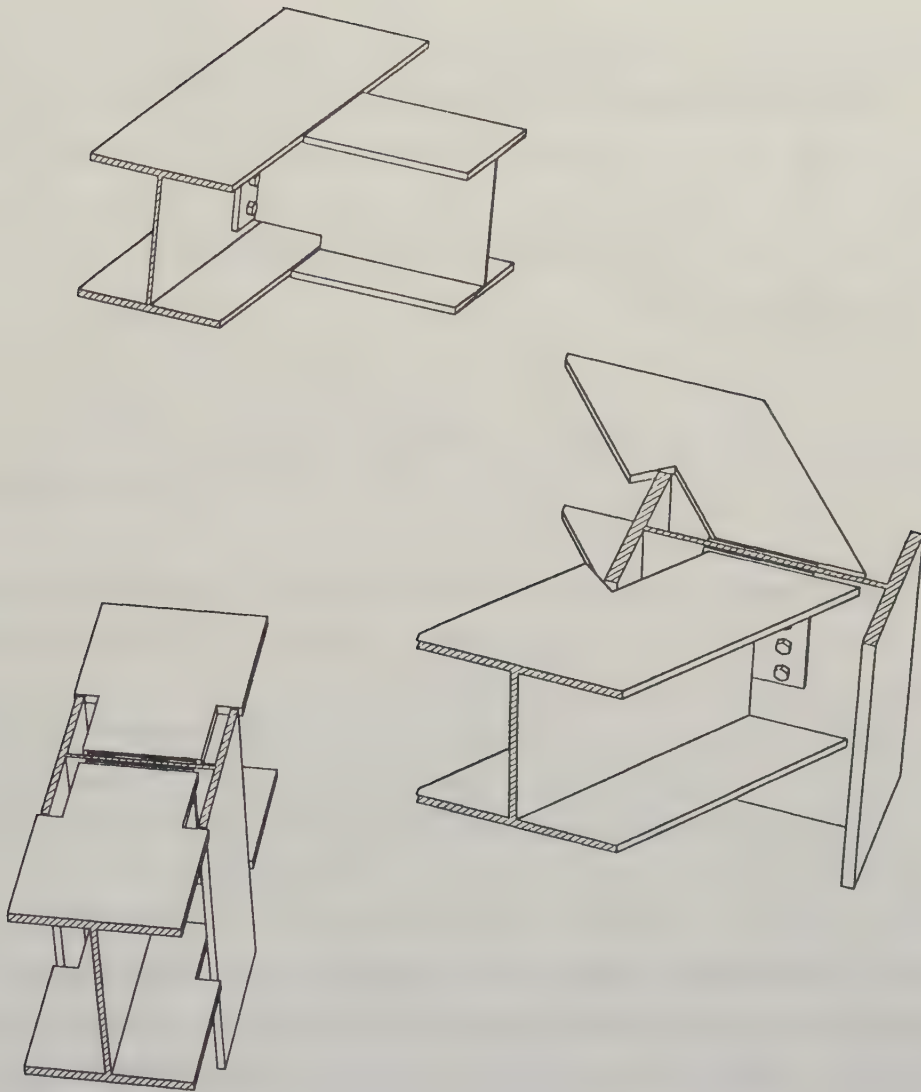


Bild 6.1: Beispiele von Ausklinkformen

Das in der vorliegenden Arbeit angewandte und erweiterte Expertensystem enthält für einfache Fälle analog Bild 6.2 einen Ausklinkbefehl, der die geometrische Subtraktion 'Körper-Körper' ausführt.

Zu der Geometrie des Hauptträgers 'formgebendes Teil' werden die Toleranzen addiert. Der Nebenträger 'formnehmendes Teil' wird dann mit dem so veränderten Profil als Hilfswerkzeug verschnitten.

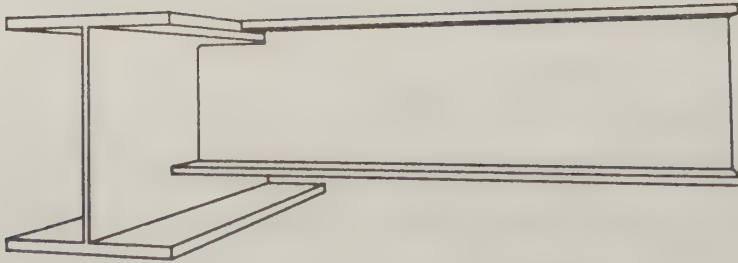


Bild 6.2: Ausklinkvorgang (Normallage)

Zur Formulierung dieses Vorgangs reicht in der Konstruktionssprache /6.1/ bei richtiger Voreinstellung der Toleranzwerte der Befehl : **AUSKLINK:/3,/4;**

(Drei und Vier sind die internen Identnummern der beteiligten Teile. Diese bei der Generierung der Teile systemintern erzeugten Nummern werden normalerweise in den Konstruktionsmethoden als Variable verwaltet.)

Die Lösung mit Hilfe des Ausklinkbefehls ist jedoch nicht allgemein anwendbar. Bereits eine kleine Verschiebung in Y-Richtung bewirkt, daß Flansch und Steg des Nebenträgers nicht mehr fertigungsgerecht ausgeschnitten werden (Bild 6.3).

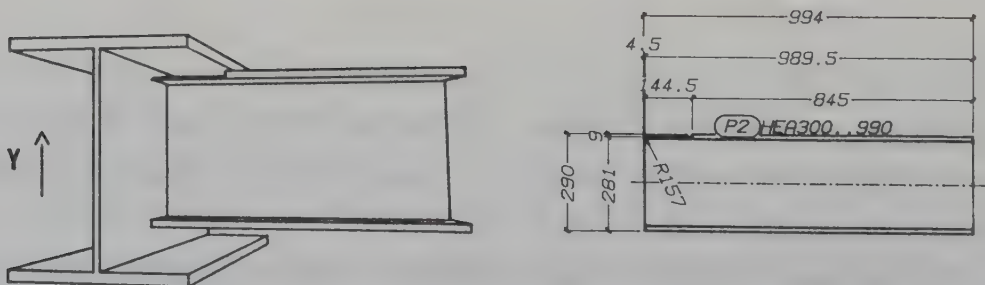


Bild 6.3: Ausklinken bei Abweichung der Träger aus der Normallage

Hier genügt also nicht die rein mathematische Funktion der Körper-Körper Subtraktion. Es ist zusätzlich das Wissen über die Fertigungsmöglichkeiten notwendig, um eine brauchbare Lösung zu erhalten. Das Abfräsen des Nebenträgers ist technisch unsinnig. Nur die korrekte Form der Ausklinkung bis mindestens zur Stegausrundung entspricht den Fertigungsverfahren. Dieses Wissen kann und soll nicht im Verarbeitungsteil des Programms enthalten sein, da die Entscheidung über den Herstellungsprozeß anwendungsbezogen festgelegt wird.

Bei der Bearbeitung des Details müssen die folgenden Fragen beantwortet werden :

1. Welcher Anpaßtyp ist notwendig ?
2. Welches sind die maßgeblichen Anpaßmaße ?
3. Ist die gewählte Anpaßform mit der Anschlußausführung verträglich ?

Zur rechnergerechten Formulierung der Antworten auf diese Fragen werden zunächst Konstruktionsregeln im Gespräch mit dem Konstrukteur ermittelt und festgelegt. Ein Teil der ersten Niederschrift dieser Regeln sieht dann vereinfacht wie folgt aus:

- Regel 1:** Ist der Anschluß ein Doppelwinkelanschluß (D) oder ein Stirnplattenanschluß (S), wird der Nebenträger bis zum Radius des Hauptträgers ausgeklinkt (A1).
- Regel 2:** Ist der Anschluß ein Steifenanschluß (ST), wird der Träger vor dem Hauptträger mit einem Sicherheitsabstand abgeschnitten (A2).
- Regel 3:** Wird der Obergurt oder Untergurt von oben oder unten ausgeklinkt, darf die Ausklinkung weder in einen Profilflansch noch in einen Profilradius reichen.

Die Regeln werden ergänzt durch Fakten:

- Aussage 1:** Bei einer Ausklinkung darf ein vorgegebener Restquerschnitt nicht unterschritten werden.
- Aussage 2:** Ein sinnvoller Sicherheitsabstand Material - Material beträgt bei einer Ausklinkung fünf mm.
- Aussage 3:** Der notwendige Restquerschnitt wird mit einem Faktor aus dem Auslastungsgrad des ungeschwächten Querschnitts hergeleitet.
- Aussage 4:** Bei den auszuführenden Konstruktionen wird ein Auslastungsgrad von 70% nicht überschritten.

Nächster Schritt ist die Umsetzung der Regeln und Fakten in die problemorientierte Sprache /6.2/ des Expertensystems. Für die Regeln bietet sich neben logischen Ausdrücken eine listenorientierte Aufarbeitung an, da damit sehr schnelle und einfache Kontrollstrategien anwendbar sind.

Die in den Regeln und Fakten enthaltenen Aussagen werden in Form von Zuweisungen niedergeschrieben. Die Eingangsbedingung, daß der der Ausklinkung vorausgegangene Anschluß ein Doppelwinkelanschluß war, wird durch:

ANSCHLUSS='DOPPELWINKEL'; festgehalten.

Nach den in der Tabelle 1 /3.3/ dargestellten Logikregeln ergibt sich zum Beispiel aus der oben genannten Regel 1 die Teilregel (D) ==> (A1). Aus der Aussage 'Anschluß ist ein Doppelwinkelanschluß' und der Teilregel 'Doppelwinkelanschluß wird ausgeklinkt', ergibt sich die einfache Schlußfolgerung: Anschluß wird ausgeklinkt. Zusätzlich wird überprüft, ob eine Ausklinkung wegen einer Kollision des Nebenträgers mit dem Hauptträger überhaupt notwendig ist.

Die Schlußfolgerung wird auch als **Inferenz** (inference) bezeichnet. Die grundlegende logische Regel, daß die Schlüsse aus einer Regel wahr sind, wenn die Prämissen wahr sind, nach der auch die vorab genannte elementare Schlußfolgerung zu ziehen ist, wird **Modus Ponens** genannt /6.3/.

W a h r h e i t s t a f e l

X1	X2	$X1 \vee X2$	$X1 \wedge X2$	$X1 \Rightarrow X2$	$\neg X1$
T	T	T	T	T	F
F	T	T	F	T	T
T	F	T	F	F	F
F	F	F	F	T	T

$\neg(\neg X1)$ ist äquivalent zu $X1$

$X1 \vee X2$ ist äquivalent zu $\neg X1 \Rightarrow X2$

de Morgansches Gesetz:

$\neg(X1 \wedge X2)$ ist äquivalent zu $\neg X1 \vee \neg X2$

$\neg(X1 \vee X2)$ ist äquivalent zu $\neg X1 \wedge \neg X2$

Distributivgesetz:

$X1 \wedge (X2 \vee X3)$ ist äquivalent zu $(X1 \wedge X2) \vee (X1 \wedge X3)$

$X1 \vee (X2 \wedge X3)$ ist äquivalent zu $(X1 \vee X2) \wedge (X1 \vee X3)$

Kommutativgesetz:

$X1 \wedge X2$ ist äquivalent zu $X2 \wedge X1$

$X1 \vee X2$ ist äquivalent zu $X2 \vee X1$

Assoziativgesetz:

$(X1 \wedge X2) \wedge X3$ ist äquivalent zu $X1 \wedge (X2 \wedge X3)$

$(X1 \vee X2) \vee X3$ ist äquivalent zu $X1 \vee (X2 \vee X3)$

T : wahr
F : falsch

Contrapositivgesetz:

$X1 \Rightarrow X2$ ist äquivalent zu $\neg X2 \Rightarrow \neg X1$

$\vee$: oder
 $\wedge$: und
 $\neg$: nicht

Tabelle 1 : Logikregeln

Formuliert in der Sprache des Expertensystems ergibt sich damit das Entscheidungskmakro zur Bestimmung des Anschlußtyps, hier AUSKLTYP genannt, wie folgt:

```
AUSKLTYPE ("FEHLERMARKE, 'ANSCHLUSS, &'TYP );

@ Aufgabe:      Auswahl eines Anschlusstyps
@ FEHLERMARKE - Eingabe/Text - Fehlerruecksprungmarke
@ ANSCHLUSS    - Eingabe/Text - Anschluss
@ TYP          - Ausgabe/Text - Ausklinktyp

TEXTFELD:ART,DOPPELWINKEL,STIRNPLATTE,STEIFE;
ATYP  =: ( 'AUSKGEOM', 'AUSKGEOM', 'OHNEKLINK' ),
INDEX = NRBEGR ( ANSCHLUSS, 'ART'<> );
#WENN,-INDEX;
#DANN,DR:' $$$ Anschlussart nicht vorhanden <AUSKLTYPE>';
#RETURN,FEHLERMARKE;

##;
TYP = ATYP[INDEX];
```

ANSCHLUSS ist ein Textparameter, auf dem die verschiedenen Anschlüsse als Text wie 'STIRNPLATTE' übergeben werden. Dem Makro 'AUSKLTYPE' wird so bekannt gegeben, um welchen Anschlußtyp es sich handelt. Aufgrund dieser Information wird durch dieses Makro der Typ der Ausklinkung festgelegt und auf der Ausgabevariablen TYP ausgegeben.

Im wesentlichen wird dazu der übergebene Anschlußtext mit den Elementen eines Textfeldes verglichen. Das hier vereinfachte Textfeld enthält im Normalfall alle zugelassenen, in der Wissensbasis berücksichtigten Anschlußarten. Jedem Element des Textfeldes wird danach indexparallel ein Ausklinktyp auf einem Textfeld zugeordnet. Auf der Variablen TYP wird der Name einer Makrogruppe bestimmt. Das Makro AUSKLTYPE trifft also eine Vorentscheidung für eine Ausklinkart aufgrund der Anschlußstruktur. Da die angegebenen Regeln nur für Träger in Bühnenlage gelten (vergl. Regel 3), wird ein vergleichbares Makro AUSKVGEOM nachgeschaltet, welches in Abhängigkeit von der Geometrie das fallspezifisch richtige Konstruktionsmakro aus der angegebenen Gruppe auswählt. Nach dem Durchlauf von AUSKLTYPE und AUSKVGEOM steht der Name des tatsächlich auszuführenden Detaillierungsmakros fest. In dem hier dargestellten Fall soll das Detailmakro als erstes Element der Gruppe AUSKGEOM den Namen AUSKGEOM1 tragen und die Geometrieausführung verarbeiten.

```
AUSKGEOM1 (TLH,TLN,'SPEZ=' ');

@ Durchfuehren einer Ausklinkung - Traeger in Buehnenlage

@ TLH,TLN - Eingabe/Zahl - Identnummern Haupt- und Nebentraeger
@ SPEZ      - Eingabe/Text - Spezifikationen

SICHER1=5,SICHER2=0,D=10; @ Spezifikationen voreinstellen
ENTSCHL(ENDEALLES,SPEZ); @ Spezifikationen aktuell auswerten

PUNKTE: 100001,PARALLELE:/TLH; ENDE;
ZHO = KZ(100001); @ Abstand HT-Achse /
           @ normiertes Anschluss-Koordinatensystem

DATEN:TLH,HH=H,BH=B,RH=R1,SH=S,TH=T;
DATEN:TLN,HN=H,BN=B,RN=R1,SN=S,TN=T;

HOBENH  = ZHO+HH/2-TH-RH,
HUNTENH = ZHO-HH/2+TH+RH,
HOBENN  = HN/2-TN-RN,
HUNTENN = -HN/2+TN+RN,
HOKL    = HN/2-MIN(HOBENH,HOBENN)-SICHER2;
HUKL    = HN/2+MAX(HUNTENH,HUNTENN)+SICHER2;
LKL     = BH/2+SICHER1;

TRENDE (TLH,TLN,LAGE,ALPHA); @ Traegerende, Winkel ?

#WENN,HOBENH<HN/2; - @ Ausklinkung notwendig ?
  #DANN,ECKAUSK:LAGE,OBEN, /TLN,D,HOKL,LKL,ALPHA;ENDE;##;
#WENN,HUNTENH>-HN/2; @ Ausklinkung notwendig ?
  #DANN,ECKAUSK:LAGE,UNTEN,/TLN,D,HUKL,LKL,ALPHA;ENDE;##;
```

In dem Makro AUSKGEOM1 werden die fertigungstechnischen und geometrischen Randbedingungen der zugeordneten Anschlußarten und Geometriefälle vorausgesetzt. Die übergeordneten Methodenstufen verhindern, daß dieses Makro in anderen Fällen angesprochen wird. In dem Makro kann weiterhin vorausgesetzt werden, daß ein normiertes, vorher festgelegtes Arbeitskoordinatensystem in dem übergeordneten Konstruktionsmakro erzeugt wurde. Bei der gewählten Formulierung werden die Punktnummern nur einmal gespeichert. In den Methoden dürfen daher keine Punktnummern aus der Eingabe verwandt werden, weil deren Koordinaten mit den neuen Werten überschrieben würden. Aus diesem Grunde werden unterschiedliche Punktnummernbereiche für die Eingaben und Methoden definiert. Bild 6.4 zeigt die verwendeten Punkte, Koordinatensysteme und Maßbezüge.

Der Name des ausgewählten Makros wird hier zu AUSKKON1 festgelegt.

```
AUSKKON1 (TLH,TLN,'SPEZ=' ');

@ Kontrolle der ausgefuehrten Ausklinkung

@ TLH,TLN - Eingabe/Zahl - Identnummern Haupt- und Nebentraeger
@ SPEZ      - Eingabe/Text - Spezifikationen

DATEN:TLN,HN=H;          @ Spezifikationen voreinstellen :
XK=50,          @ Untersuchung 50 mm von (0,0)
FAC1 = 0.4, FAC2 = 0.7, @ Rechenwerte
MINRESTH = HN*FAC2;      @ min. Restquerschnitt
ENTSCHL(ENDEALLES,SPEZ); @ Spezifikationen aktuell auswerten

@ Schnittgerade definieren

PUNKTE:NORASTER;ABSOLUT;100000,(XK,XK),(0,1000); ENDE;

@ Der Nebentraeger (TLN) wird an der Geraden 100000-100001 in dem
@ Makro EXTREMSC geschnitten und die Extrempunkte des Schnittes
@ in Bezug auf das aktuelle (normierte)-KOOS in Z-Richtung ermit-
@ telt. Die Koordinaten dieser Punkte werden abgeliefert. Hieraus
@ errechnen sich die Masze der ausgefuehrten Klinkung.

EXTREMSC(TLN,'Z','100000-100001',XERG,YERG,ZERG);
HOKL=HN/2-ZERG;

EXTREMSC(TLN,'-Z','100000-100001',XERG,YERG,ZERG);
HUKL=HN/2+ZERG;

@
@ Obere oder untere Ausklinkung zu gross ?
@
#WENN, HOKL>HN*FAC1 ' HUKL>HN*FAC1;
#DANN,
  DRUCKE: ' $$$ Fehler, HOKL = ',HOKL,' HUKL = ',HUKL,/,
          '          groesser als ',FAC1,' * Nebentraegerhoehe ';
  ##;

@
@ Obere und untere Ausklinkung vorhanden ?
@ Restquerschnitt zu klein ?
@
#WENN, HOKL & HUKL & HOKL+HUKL>MINRESTH;
#DANN,
  DRUCKE: ' $$$ Untere und obere Ausklinkung in Summe',/,
          '          groesser als ',FAC2,' * Nebentraegerhoehe !';
  ##;

#ENDEALLES;
```

Obwohl dieses Makro spezifische Kontrollfunktionen im Nachlauf zur Geometrieausführung übernimmt, enthält es eine vollkommen eigenständige Ablauflogik. Hierdurch kann es auch dann noch eingesetzt werden, wenn das eigentliche Geometrieermittlungsmakro vollständig durch ein anderes ersetzt wurde.

Die Unabhängigkeit der drei Arbeitselemente **Auswahl**, **Geometrieerzeugung** und **Geometriekontrolle** erzwingt einen etwas höheren Formulierungsaufwand als eine übergreifende kombinierte Umsetzung in einer einzigen Konstruktionsmethode. Der Aufwand ist jedoch durch den wesentlich höheren Einsetzbarkeitsgrad gerechtfertigt. Die eigentliche Form des Konstruktionsdetails wird zunächst spezifisch für die Anwenderbedürfnisse festgelegt. Die Anordnung der Untersuchungen und Regeln bleibt aber auch dann erhalten, wenn diese Festlegungen individuell verändert werden.

Gleichgültig wie das Detail letztlich aussieht, die notwendigen Schritte lassen sich immer wie folgt zusammenfassen:

1. Schritt : Identnummern der beteiligten Partner
ermitteln.
2. Schritt : Auswertung der von außen angegebenen Werte
3. Schritt : Normieren der Teilelagen
4. Schritt : Herausfiltern des Konstruktionsfalles
5. Schritt : Herausfiltern des Kontrollfalles
6. Schritt : Ausführung der Konstruktion
7. Schritt : Kontrolle der Konstruktion

Jeder Ausführungsteil wird in eine Reihe von Konstruktionsregeln aufgelöst. Programmtechnisch werden die Regeln in Makros zusammengefaßt, wobei jedes Makro einen Schritt repräsentiert. Die Parameterversorgung der Makros und die Steuerung der Aufrufreihenfolge in den sieben Schritten

wird in dem übergeordneten Makro AUSK ausgeführt. Dieses ist allgemeingültig, da ausschließlich die Konstruktions-schritte in ihrer Reihenfolge festgelegt und so die ent-sprechenden Makros aufgerufen werden.

```
AUSK ("TRAEGER1","TRAEGER2","ANSCHLUSS='STIRN',
      'SPEZA=' ','SPEZ1=' ','SPEZ2=' ');

@ allgemeine Verwaltung und Kontrolle der Auslinkkonstruktion
@ Traeger von Punkt 12 nach 13 ==> Eingabe : '12-13'

@ TRAEGER1 - Eingabe/Text - Haupttraegeridentifikation
@ TRAEGER2 - Eingabe/Text - Nebentraegeridentifikation
@ ANSCHLUSS - Eingabe/Text - Anschlussvorgabe (Steuerung)
@ SPEZA     - Eingabe/Text - Spezifikationen Makro AUSK
@ SPEZ1     - Eingabe/Text - Spezifikationen Geometriemakro
@ SPEZ2     - Eingabe/Text - Spezifikationen Kontrollmakro

DECODE (2,TRAEGER1,TRAEGER2); @ Traegeridentnummern
#WENN,ERROR,#SPRINGE,ENDEALLES; TLH=TLN1,TLN=TLN2;

NAMEGEO='NICHTEXISTENT', @ Spezifikationen voreinstellen
NAMEKON='NICHTEXISTENT';
ENTSCHL(ENDEALLES,SPEZA); @ Spezifikationen aktuell auswerten

SAVEBE; @ Sichern der aktuellen Anwenderebene

NORMKOOS(TLH,TLN); @ Einsetzen eines normierten
                  @ Koordinatensystems (BILD 6.5)

#WENN,-EXTMAK(NAMEGEO); @ Geometriemakro ermitteln,
#DANN,                  @ wenn nicht gegeben
    AUSKLTP (ENDEALLES,ANSCHLUSS,TYP);
    AUSKVGeo (ENDEALLES,TLH,TLN,TYP,NAMEGEO);
##;

#WENN,-EXTMAK(NAMEKON); @ Kontrollmakro ermitteln,
#DANN,                  @ wenn nicht gegeben
    AUSKVkon (ENDEALLES,NAMEGEO,NAMEKON);
##;

NAMEGEO (TLH,TLN,SPEZ1); @ Variable Methodensteuerung
                        @ 'Geometrie', NAMEGEO belegt
                        @ (z.B. AUSKGEO1) in AUSKVGeo
NAMEKON (TLH,TLN,SPEZ2); @ Variable Methodensteuerung
                        @ 'Kontrolle', NAMEKON belegt
                        @ (z.B. AUSKKON1) in AUSKVkon
RSTEBE; @ Ruecksetzen der Anwenderkonstruktionsebene

#ENDEALLES; @ Endmarke fuer Fehlerfall
```

Ein Problem stellt dabei die Erweiterbarkeit der übergeordneten Aufrufstruktur für neue Konstruktionsfälle dar. Der Konstrukteur, der sich eine fertigungsspezifische Ausklinklösung ausgedacht hat und diese in die vorhandene Wissensbasis integrieren will, soll die übergeordneten Verwaltungsmethoden benutzen können, ohne sie verändern zu müssen. Seine Ausklinklösung gehört programmtechnisch einer untergeordneten Hierarchiestufe an. Sie soll angesteuert werden, ohne daß dies bei der Programmierung der übergeordneten Stufen explizit berücksichtigt wurde.

Die Konstruktionsvariante entspricht einem Makroaufruf. Das Problem kann dadurch gelöst werden, daß die Makroaufrufe der konstruktionsausführenden Methoden in den verwaltenden Methoden in variabler Form formuliert werden.

Wird einer Textvariablen ein Makroname zugeordnet, kann mit dieser Variablen das Makro aufgerufen werden. Mit

```
NAMEKON = 'AUSKGEOM1';
```

wird der Variablen NAMEKON der Textwert AUSKTYP1 zugewiesen. Wird danach ein Makro mit:

```
NAMEKON(...Parameter...);
```

aufgerufen, setzt das System automatisch für NAMEKON den Text AUSKTYP1 ein. Die Werte werden daher nicht an ein Makro NAMEKON übergeben, sondern an das Makro AUSKGEOM1.

Die Variable kann beliebig firmenspezifisch belegt werden. Steht solch eine Variable in dem übergeordneten Aufruf der Methode, können die unterschiedlichsten Makros verknüpft werden, ohne daß die Programmierung der Aufrufregel geändert werden muß.

Der Konstrukteur muß sich in einem solchen Fall bei seinem eigenen Entwurf nur an die vorgegebene Parameterreihenfolge halten. Das exemplarische Verwaltungsmakro AUSK wurde entsprechend konzipiert.

Eine weitere Besonderheit stellt die Verwaltung der makrospezifischen Voreinstellungen dar. Aktuelle Werte werden an die Methode als allgemeiner Text auf einer Textvariablen übergeben.

Die im abgedruckten Beispiel SPEZA genannte Variable kann somit zum Beispiel den Text 'NAMEGEO=FIRMENLOESUNG1' enthalten. In der Methode wird zunächst die Variable NAMEGEO mit NICHTEXISTENT belegt. Erst die Methode ENTSCHL aktiviert den Inhalt von SPEZA, so daß im gedachten Fall der Wert von NAMEGEO überschrieben wird und das Makro AUSK 'FIRMENLOESUNG1' aufruft, wenn diese existiert. Durch diese Technik ist erreichbar, daß unterschiedliche Übergabevariable unabhängig von der Programmlösung durch stets gleiche Parameter übertragen werden können.

Eine firmenspezifische Lösung muß möglich sein, ohne daß sich der Entwickler einer solchen Lösung mit der auftretenden geometrischen Vielfalt unterschiedlicher Teilelagen beschäftigen muß. Die verschiedenen vorkommenden Koordinatensysteme der Bearbeitung erschweren eine allgemeingültige Formulierung einer Konstruktionslogik. Aus diesen Grunde wird in dem Verwaltungsmakro mit Hilfe des Makros NORMKOOS ein normiertes Koordinatensystem, wie bereits in Bild 6.4 dargestellt, erzeugt.

In diesem Abschnitt wurde deutlich, daß die Codierung der eigentlichen Konstruktionslogik detaillierte Informationen über die aktuelle Geometrie voraussetzt. Diese Werte können zum großen Teil aus vorher erstellten Konstruktionen hergeleitet werden. Hierzu sind jedoch auf-

wendige Datenstrukturen und zum Teil komplizierte Algorithmen erforderlich. Die zur weiteren Konstruktion erforderlichen Werte wie bereits erstellte Schraubenbildgeometrien, durch Anschlüsse belegte Flächen oder ungestörte Konstruktionsbereiche können in der Wissensbasis nachgehalten werden. Dabei werden jedoch Daten zum Beispiel über Konstruktionsflächen oder -ebenen parallel zur Datenstruktur des Expertensystems abgelegt. Da diese Rechenwerte an vielen Stellen der unterschiedlichsten Wissensbasen benötigt werden, bietet es sich an, bereits innerhalb des Expertensystems so viele Informationen wie möglich aus dem rechnerinternen Modell zu ermitteln.

Nur durch den Informationsfluß aus dem System in die Wissensbasis kann die Codierung in der Wissensbasis auf das eigentliche konstruktive Wissen beschränkt bleiben. Im folgenden wird dazu die Lösung auf der Basis des vorhandenen Volumenmodells vorgeführt.

6.2 Errechnen von Informationen für das Konstruieren aus dem rechnerinternen 3D-Modell

Zunächst wird grob die Lagebeziehung der Teile zueinander festgestellt. Schätzungsweise 80 Prozent aller Anschlußfälle im normalen Stahlhochbau betreffen Anschlüsse, bei denen der Nebenträger mit einer seiner Hauptansichten parallel zu der X-Y Ebene des Hauptträgers liegt (Bild 6.5). Alle Wand- und Bühnenkonstruktionen gehören dazu.

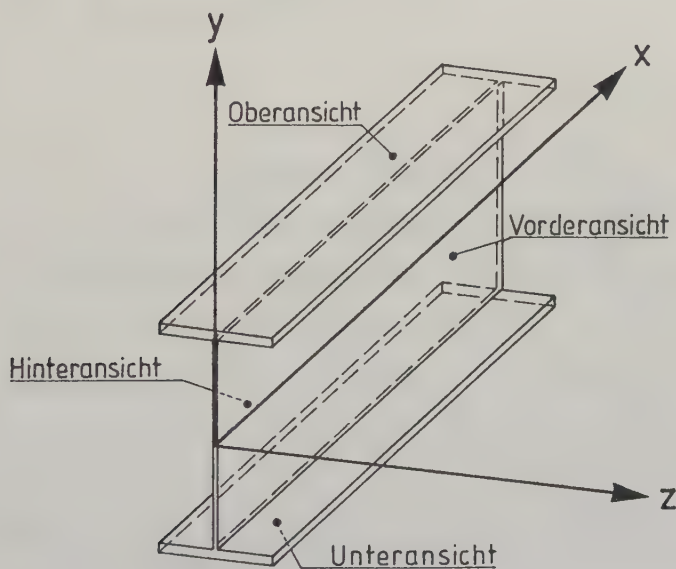


Bild 6.5: Definition der Trägerebenen

Diese Definition des Trägerkoordinatensystems ist veraltet, wurde aber nicht geändert, um die neu in das Expertensystem einzuführenden Elemente kompatibel mit den bestehenden Datenstrukturen zu halten.

Mit Hilfe einer neuen Funktion des Expertensystems wird diejenige Hauptansicht des Hauptträgers, die dem Nebenträger zugewandt ist, abgefragt. In Verbindung mit Befehlen zum Feststellen der Lage beider Trägerkoordinatensysteme und der Extremabmessungen wird damit die Raumorientierung der Teile zueinander geklärt.

Weiterhin kann über eine Suchfunktion /6.4/ festgestellt werden, ob im vorgesehenen Anschlußbereich Störteile, also Teile, auf die der Anschluß gegebenenfalls Rücksicht nehmen muß, liegen. Auch der Fall der Trägerkreuzung ist möglich und wird daher geprüft (Bild 6.6).

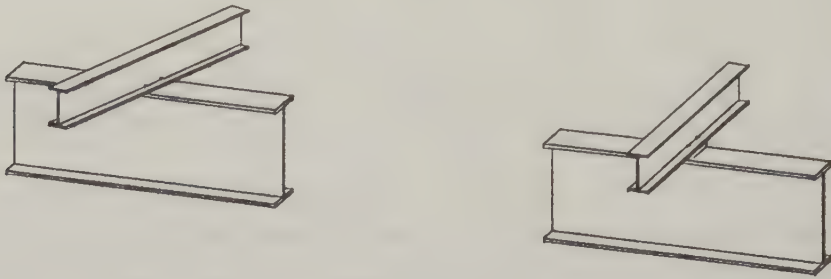


Bild 6.6: Trägerkreuzung

Bei einer Trägerkreuzung oder einer Konstruktion ohne Störeinfluß in einer Ebene können die Anschlußflächen mit Hilfe einiger im Rahmen dieser Arbeit erstellter Funktionen festgestellt werden. Als Anschlußflächen sind dabei diejenigen Körperflächen definiert, die nach den Regeln der Wissensbasis für die Anschlußkonstruktion zur Verfügung stehen. Von Seiten der Konstruktionsmethode wird die Untersuchung durch Vorgabe der zu untersuchenden Teile gesteuert.

Liegt keine freie ungestörte Konstruktion vor, können auf einfache Art keine Aussagen über die möglichen Anschlußflächen und ihre Verwendbarkeit gemacht werden. Die im Anschlußbereich vorhandenen Störteile verdecken unter Umständen die für die Anschlußausführung notwendigen Flächen (Bild 6.7).

Selbst bei einer ungestörten Konstruktion treten bei einem räumlich schiefen Anschluß erhebliche Konstruktionsprobleme auf, wenn sich potentielle Anschlußflächen zum Beispiel an Steg und Flansch gegenseitig verdecken.

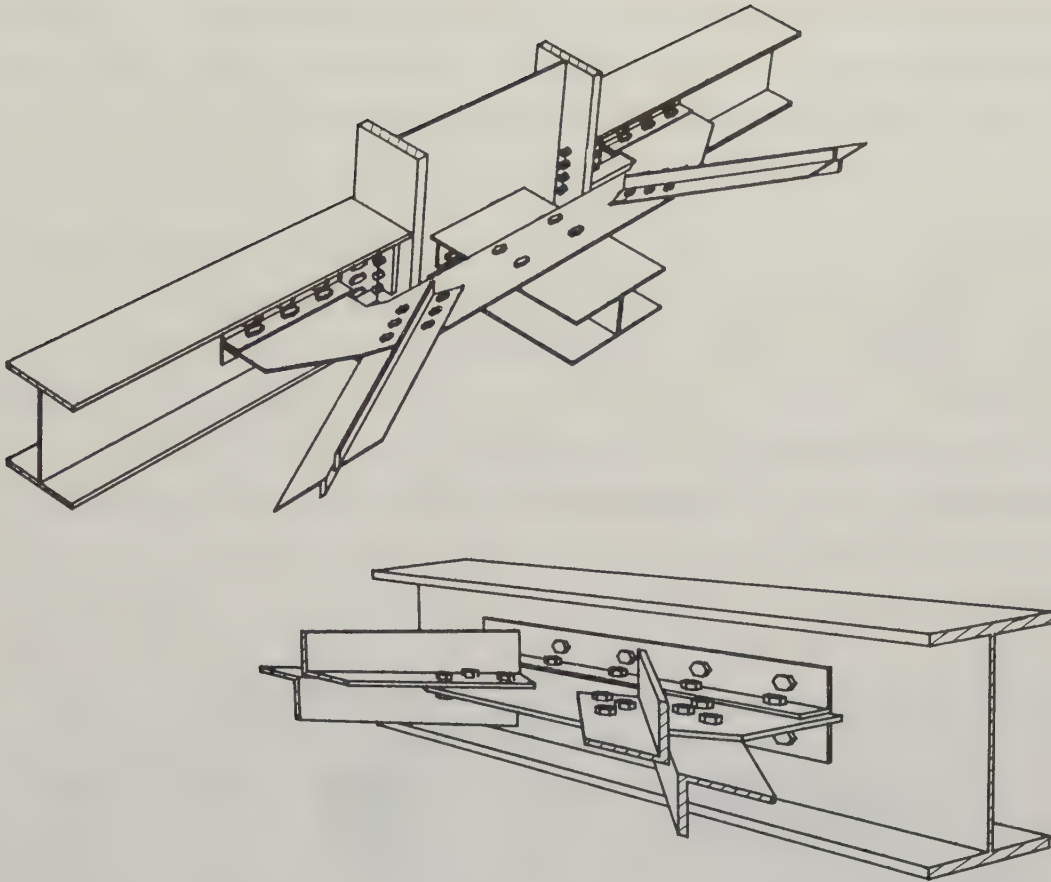


Bild 6.7: Vergleich einer gestörten und ungestörten Konstruktion

Zuerst wird daher festgestellt, wieviel Raum an welchen Stellen für einen Anschluß grundsätzlich zur Verfügung stehen würde.

Da für die Anschlußgestaltung auch die Raumlage der Anschlußfläche in Bezug auf das aktuelle Koordinatensystem und ihre Kontur von Bedeutung sind, werden diese ebenfalls untersucht.

Der Freiraum soll nach Möglichkeit sehr groß werden, damit die Konstruktionsmethoden mit einer Minimalanzahl geometrischer Randbedingungen konstruieren können.

Auf der anderen Seite steigt der Rechenaufwand zur Ermittlung des freien Anschlußbereiches etwa proportional zur Größe des untersuchten Konstruktionsschnittes, so daß der Ausschnitt klein zu wählen ist. Diese beiden konkurrierenden Ziele lassen sich dadurch vereinigen, daß von Seiten der Konstruktionsmethode in Abhängigkeit vom Anschlußtypus der Untersuchungsbe- reich festgelegt wird. Als Voreinstellung dient dabei die Breite und Höhe des anzuschließenden Trägers. Der Anschlußbereich wird angenähert durch ein Rechteck ersetzt, was den Standardkonstruktionen recht nahe kommt (Bild 6.8).

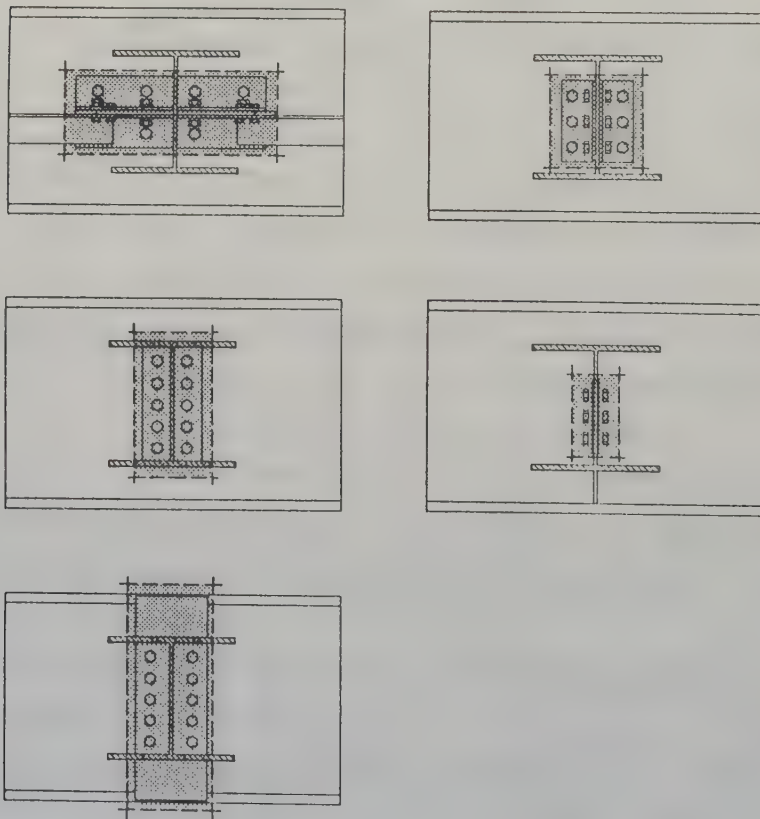


Bild 6.8: Anwendbarkeit einer Rechteckersatzgeometrie

Andere Ersatzgeometrien sind vorgesehen, erhöhen jedoch den Interpretationsaufwand in den Konstruktionsmethoden und sollten nur bei komplizierten Anschlußgeometrien, wie zum Beispiel Rohrgeometrien, verwendet werden.

Stellvertretend für andere neue Leistungen des Systems wird an einem Beispiel gezeigt, wie Informationen über das im Rechner gespeicherte Modell gewonnen werden können.

Der direkte Anschluß, bei dem die Kraft auf dem kürzesten Wege übertragen wird, ist meist die beste und somit am häufigsten auftretende Anschlußform, gleichgültig um welchen Konstruktionstyp es sich handelt. Eine Ausnahme bilden die Schellenkonstruktionen, die im Rohrhalterungs-bau häufig eingesetzt werden, bei denen die kraftübertragende Fläche auf der nebenträgerabgewandten Seite liegt.

In der konventionellen Konstruktion ermittelt der Konstrukteur als direkte Anschlußflächen die vom Anschluß her sichtbaren Flächen. Dabei beschränkt er seine Untersuchung ausschließlich auf den Bereich des Anschlusses. Auch für den Menschen ist die Sichtbarkeitsklärung und die Begrenzung des Untersuchungsbereiches bei komplizierten Konstruktionen nicht ganz einfach.

Der zur Klärung dieses Problems gewählte prinzipielle Verfahrensablauf zur Anschlußflächenanalyse wird im Folgenden in Anlehnung an den ersten Teil dieses Kapitels anhand eines komplizierteren Ausklinkbeispiels dargestellt.

Gegeben sei als Ausgangssituation ein räumlich angeordneter Träger, der an einem Ende an einen Hauptträger angepaßt werden soll. Ähnliche Konstruktionssituationen treten durchaus häufiger auf und bereiten in der konventionellen Konstruktion Schwierigkeiten (Bild 6.9).

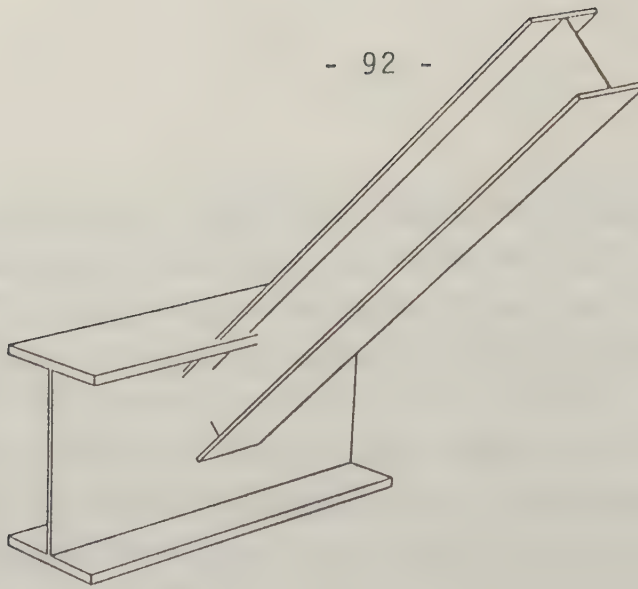


Bild 6.9: Ausgangssituation

Der Nebenträger, welcher angeschlossen werden soll, wird durch einen rechteckigen Körper ersetzt. Dieser Ersatzkörper repräsentiert den Untersuchungsbereich.

Der erste Schritt besteht darin, diejenigen Flächenteile des Hauptträgers zu ermitteln, die in den Untersuchungsbereich hineinragen. Nur diese Flächen kommen grundsätzlich für den Anschluß in Frage. Dieser Schritt ist identisch mit einem Verschneidungsvorgang. Mit Hilfe des Ersatzkörpers werden alle maßgeblichen Flächen herausgeschnitten (Bild 6.10).

Durch den Verschneidungsprozeß wird der Untersuchungsbereich von der übrigen Konstruktion isoliert.

Danach werden alle diejenigen Flächenteile ermittelt, die vom anzuschließenden Teil aus sichtbar sind. Hierzu dienen sogenannte 'hidden-line' und 'hidden-surface' Algorithmen. Gute Übersichten über die für diese Visibilitätsermittlung gebräuchlichen Verfahren bieten /6.5, 1.3/.

Die vorliegende Arbeit nutzt hier als Grundlage im wesentlichen die Arbeiten von Haake /1.3/.

Die Flächen, an die angeschlossen werden kann oder auf die bei der Anschlußausbildung Rücksicht genommen werden muß, werden in ihren Abmessungen und ihren Lagen an die Konstruktionsmethode ausgegeben.

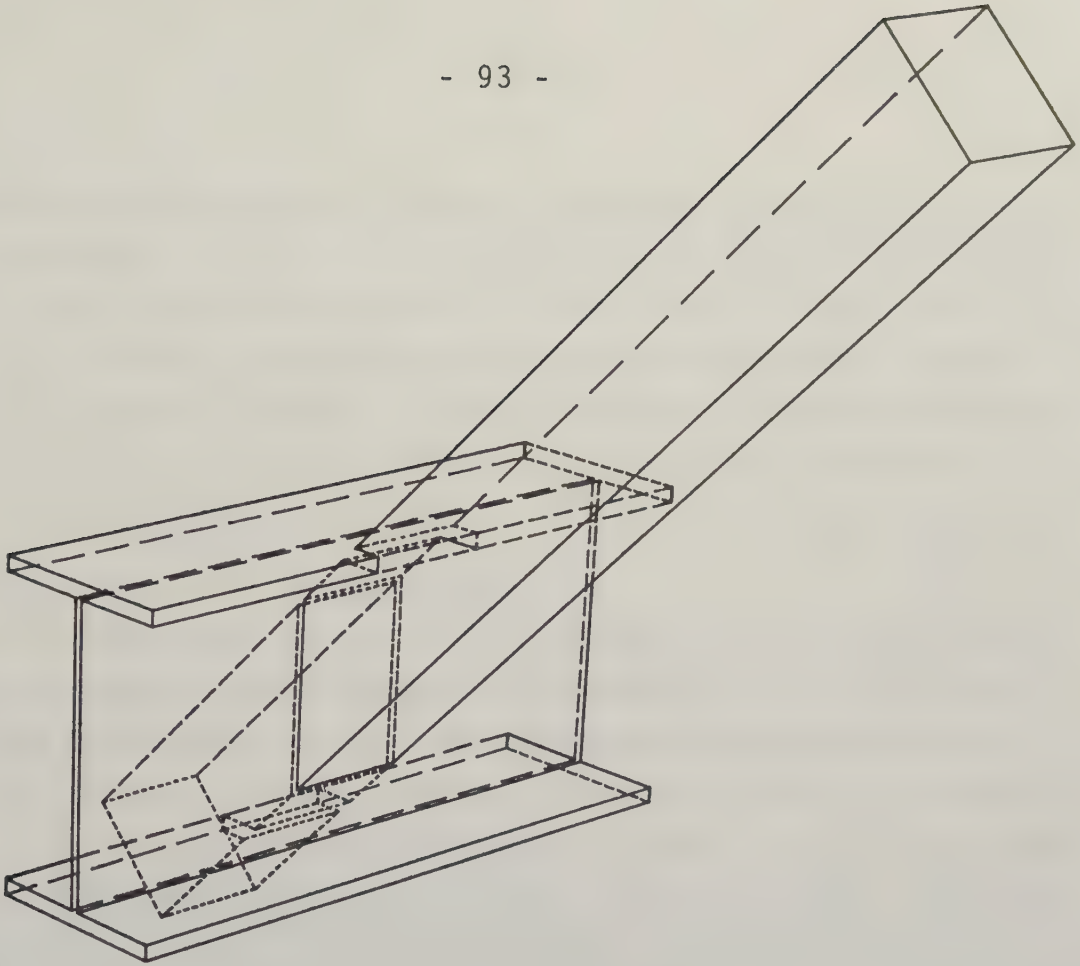


Bild 6.10: Rechteckverschneidungskörper

Damit können auch räumlich komplizierte Problemstellungen automatisch konstruiert werden. Einfacher Anwendungsfall ist wieder die Grundoperation 'Ausklinkung' (Bild 6.11 A). Durch Nachuntersuchungen lassen sich dabei verdeckte Bereiche soweit sinnvoll zusätzlich ausnutzen (Bild 6.11 B).

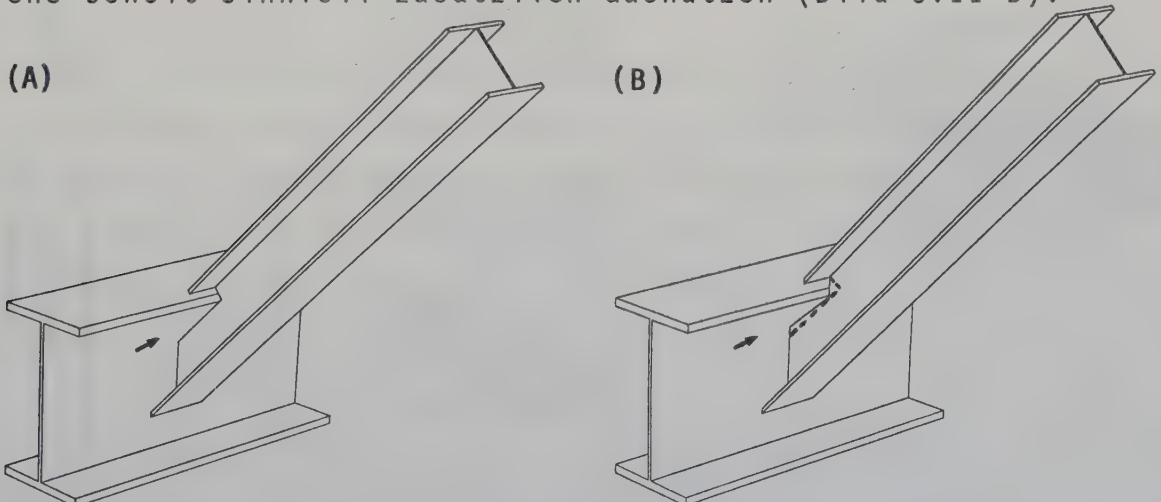


Bild 6.11: Ausklinkung bei Trägern in unterschiedlichen Ebenen (z. B. bei Treppenkonstruktionen)

Das Verfahren von Haake beschränkt sich auf die Sichtbarkeitsklärung der Körperkanten. Dies ist ein besonders vorteilhafter Weg, hohe Geschwindigkeiten bei der Visibilitätsuntersuchung umfangreicher Objekte zu erzielen. Hauptproblem der wissensorientierten Geometrieauswertung ist jedoch nicht die Auswertung der Sichtbarkeit in Form eines Bildes. Das Programm muß die sichtbaren Flächen dem Konstruktionsalgorithmus als geschlossene Anschlußflächen abliefern. Die Abmessungen dieser Flächen ergeben die geometrischen Randbedingungen für die Konstruktion. Normalerweise treten bei einer Visibilitätsuntersuchung in Teilkanten zerfallende Kanten und bei einer Verschneidungsuntersuchung mehrfach zusammenhängende Flächen auf. Würden diese zur Untersuchung an die Wissensbasis herausgemeldet, wären derartig viele Fallunterscheidungen notwendig, daß eine Auswertung für alle Fälle unmöglich erscheint. Aus diesem Grunde wird in dem hier vorgestellten Verfahren besonderes Gewicht auf die Bereinigung der ermittelten Flächen gelegt (Bild 6.12).

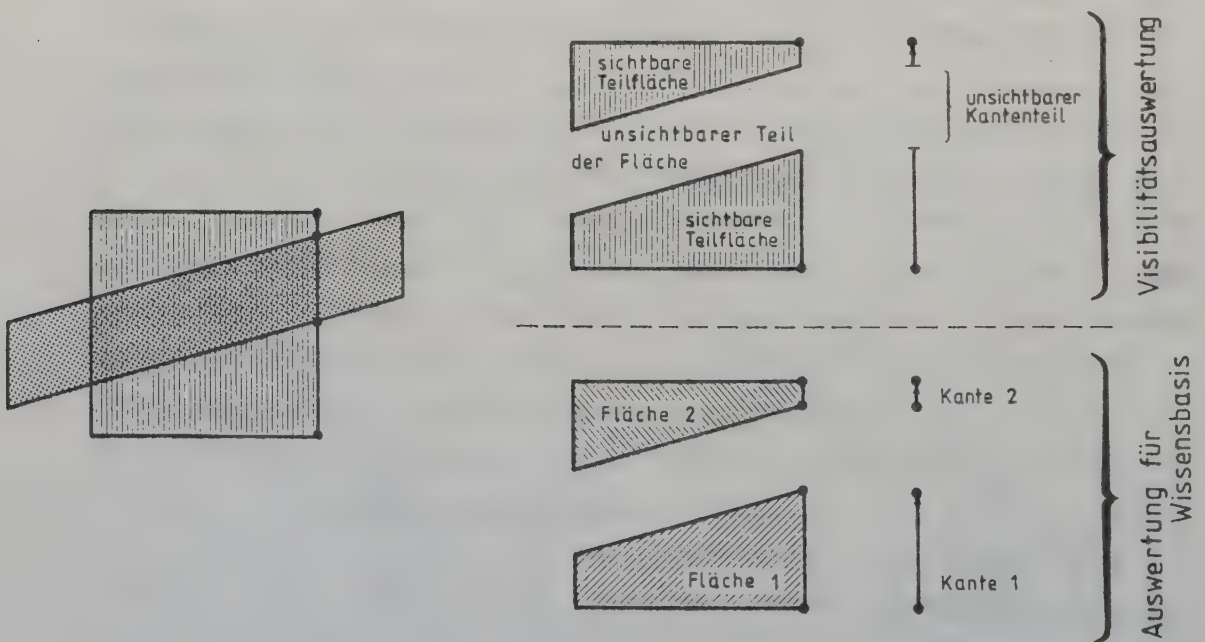


Bild 6.12: Flächenauswertung für eine Wissensbasis

Hierzu wurden spezielle Algorithmen und Datenstrukturen entwickelt.

Ziel der Untersuchungen ist es, möglichst rechteckige, einfach zusammenhängende Flächen aus der globalen Datenstruktur des 3D-Modells herzuleiten. Diese Vorgehensweise benötigt zusätzlich Rechenzeit und Speicherplatz.

Da der Untersuchungsbereich aber immer klein im Vergleich zur Gesamtkonstruktion ist, bleibt der Aufwand in technisch sinnvoller Größenordnung.

Der Zusammenhang zwischen der Datenstruktur des allgemeinen Volumenmodells und der für die Modellanalyse notwendigen Datenstruktur wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

6.2.1 Mögliche Datenstrukturen für die Modellanalyse

Aus der Theorie der Speicherzugriffsverwaltung sind verschiedene Datenbankmodelle bekannt. Wichtige für CAD-Datenbanken verwandte Systeme sind Assoziative Datenstrukturen, Netzwerkdatenmodelle (z.B. Codasyl) und Relationale Datenmodelle.

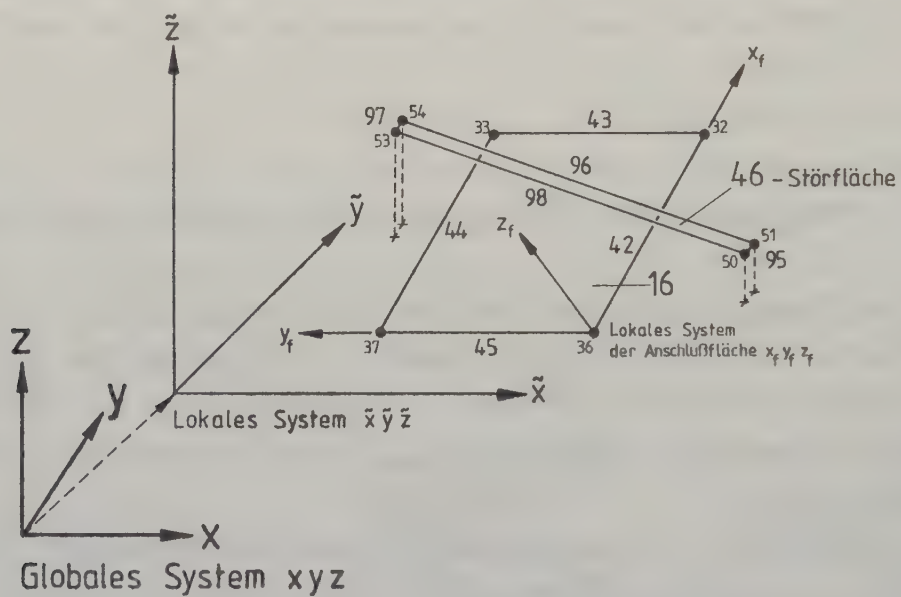
Diese Modelle ergeben homogene Speicherstrukturen, bei denen die einzelnen Elemente gleichberechtigt nebeneinander stehen.

In der Anwendung für die Baukonstruktion mit zum Teil extrem großen Datenbanken haben sich im Gegensatz dazu heterogene listenorientierte Datenstrukturen bewährt. Durch einfachen hierarchischen Aufbau sind dabei sehr schnelle Datenzugriffe möglich. Diese Problematik ist in der Literatur hinreichend beschrieben /1.3, 6.6, 6.7, 6.8/.

6.2.2 Angewandte globale Datenstrukturen zur Teileverwaltung

Die Datenstruktur für das Volumenmodell des in dieser Arbeit verwandten Expertensystems wurde von Haake /1.3/ entwickelt (Bild 6.13) und hier übernommen.

Globale Datenstruktur



topologische Daten

(sequenziell: alle Flächen eines Körpers,
alle Kanten einer Fläche hintereinander)

analytische Daten

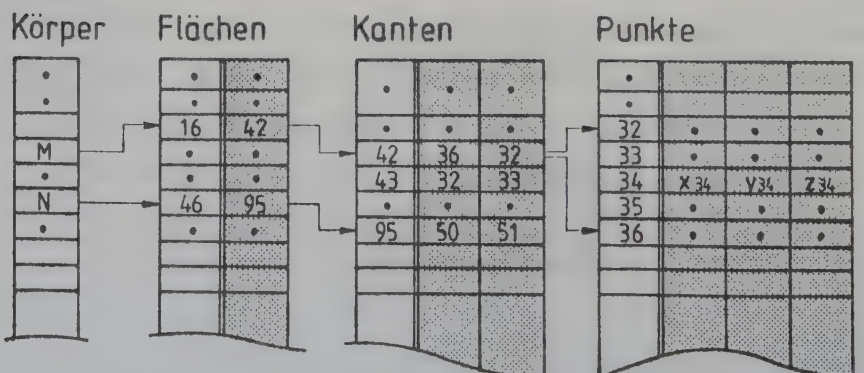
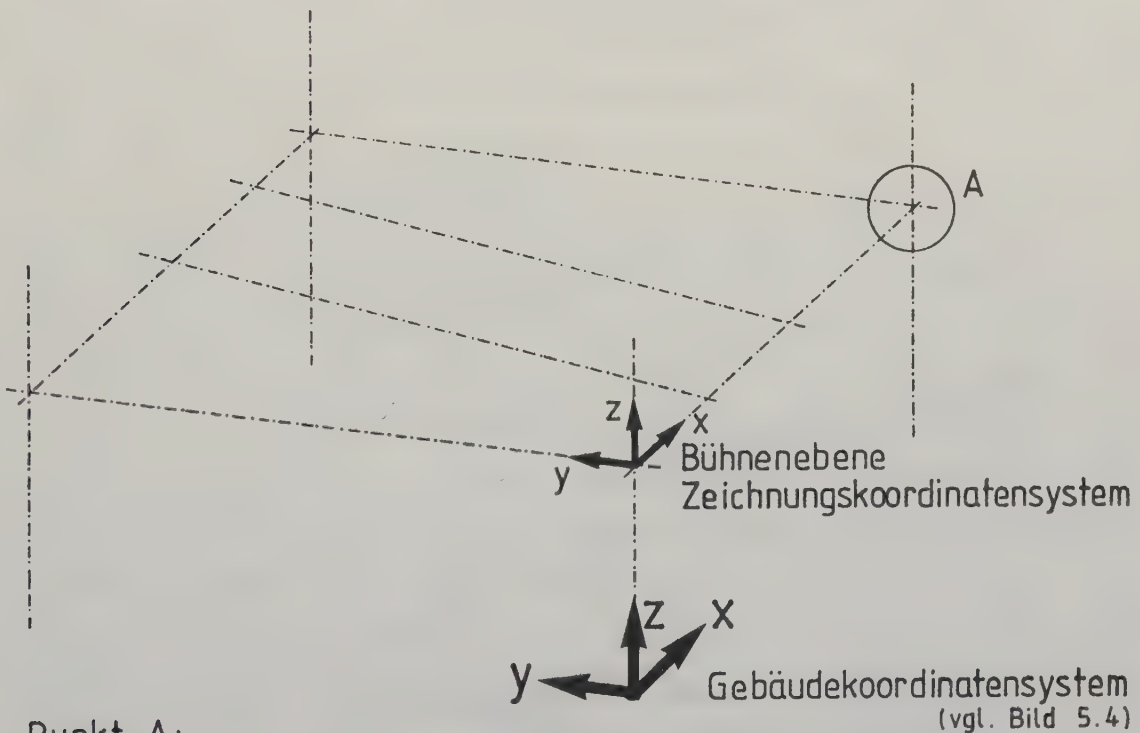


Bild 6.13: Globale Datenstruktur

Außerdem wurde die von Schlensker /1.4/ in das System eingeführte Koordinatensystemhierarchie berücksichtigt. Die Verschachtelung der verschiedenen Koordinatensysteme Gebäude-Ebene - Bauteil, auch die Beschreibung in ineinander aufgerufenen Bauteilen mit ihren Koordinatensystemen ist unverzichtbar für die Konstruktion (Bild 6.14). Die Ergebnisse müssen in dem aktuell gültigen Koordinatensystem bereitgestellt werden (vergl. Bild 2.4, 5.4, 6.4).



Punkt A:

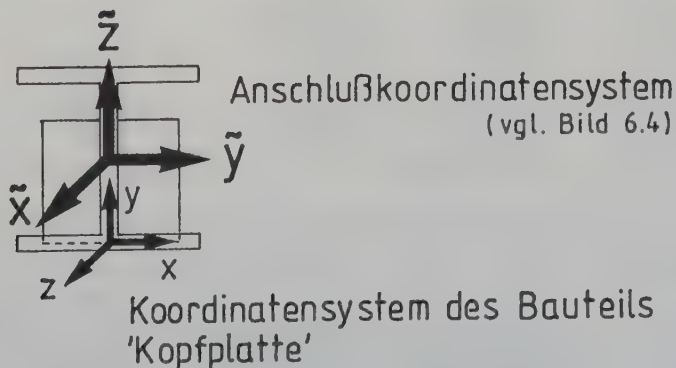
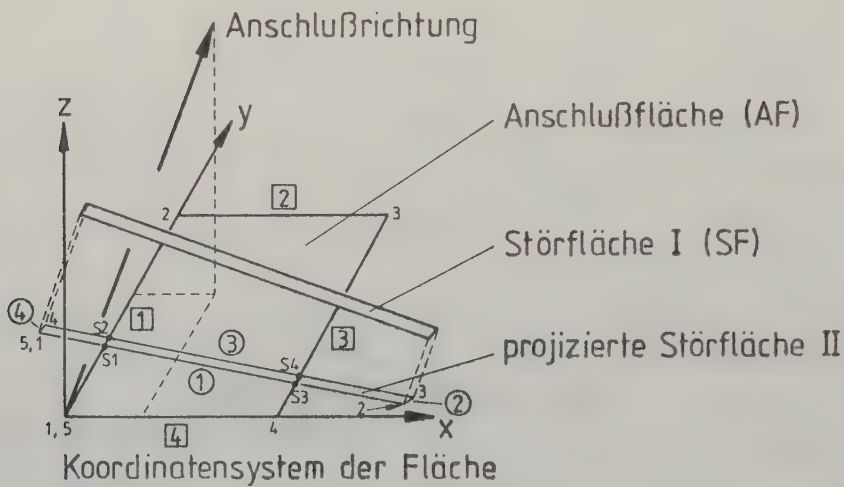


Bild 6.14: Koordinatensystemhierarchie

6.2.3 Angewandte lokale Datenstrukturen zur Teileverarbeitung

Da es sich bei den zu untersuchenden Bereichen immer nur um solche mit wenigen Teilen handelt, ist es sinnvoll, eine etwas aufwendigere Datenstruktur zugunsten einfacher und rechenzeitsparender Lösungsalgorithmen zu wählen (Bild 6.15).

Lokale Datenstruktur (I)



AF-Punkte

1	x_1	y_1	z_1
2	x_2	y_2	z_2
3	.	.	.
4	.	.	.
5	.	.	.

SF-Punkte

1	x_1	y_1	z_1
2	x_2	y_2	z_2
3	.	.	.
4	.	.	.
5	.	.	.

Schnittpunkte (SP)

S1	x_{s1}	y_{s1}
S2	x_{s2}	y_{s2}
S3	.	.
S4	.	.

analytische Daten

SP → AF Kante
→ SF Kante

SP	AF	SF
1	1	1
2	1	3
3	3	1
4	3	3

AF Kante → SP

AF	SP	SP	.	.
1	1	2	-	-
2	-	-	-	-
3	4	3	-	-
4	-	-	-	-

SF Kante → SP

SF	SP	SP	.	.
1	1	3	-	-
2	-	-	-	-
3	4	2	-	-
4	-	-	-	-

topologische Daten

Bild 6.15: Lokale Datenstruktur (I)

Durch die Aufnahme entsprechender Hin- und Rückverweise der Kanten auf die Schnittpunkte und umgekehrt konnten schnelle Algorithmen zur Umordnung der Flächen geschaffen werden. Die betrachteten Flächen werden dabei stets als geschlossene Konturen abgespeichert.

6.2.4 Analyseverfahren

Im ersten Schritt der Bearbeitung wird der Anschlußbereich durch entsprechende Schnittführung isoliert. Dabei wird das zu untersuchende Teil mit einem Ersatzkörper, der den Untersuchungsraum eingrenzt, verschnitten. Diese Verschneidungsoperation wird in der globalen Datenstruktur im globalen Koordinatensystem durchgeführt. Die an dieser Operation beteiligten Teile werden daher ins globale System transformiert.

In der globalen Datenstruktur werden alle bei der Verschneidung neu entstehenden Flächen mit entsprechender Kennung gespeichert. Diese Flächen sind die potentiellen Anschlußflächen.

Dieses Vorgehen für einen Hauptträger, wie im vorhergehenden Kapitel gezeigt, gilt analog für eine Teilgruppe, an die angeschlossen werden soll. Dabei entstehen nur zusätzliche Flächen.

Eine Anschlußfläche muß folgende Bedingungen einhalten:

1. Die Flächennormale muß in den durch die Anschlußrichtung definierten Halbraum zeigen.
2. Die Fläche muß einfach zusammenhängend sein, damit eine einfache Auswertung in den Konstruktionsmethoden möglich ist.
3. Als Anschlußflächen kommen zunächst nur diejenigen Flächenanteile in Betracht, die nicht durch andere Flächen verdeckt werden.

Das erste Kriterium dient als schneller Grobfilter für die Sichtbarkeit. Es wird auch Flächentest genannt. Ist der Winkel, den der Normalenvektor der Fläche mit der Anschlußrichtung bildet, größer als 90 Grad, ist sie vom Anschluß aus gesehen unsichtbar, kann also nicht relevant sein. Die weiteren Untersuchungen zur Auswertung der anderen Bedingungen sind schwieriger. Um die Verdeckungen der potentiellen Anschlußflächen durch Flächen des gleichen (Eigenverdeckung) oder anderer Körper (Fremdverdeckung) festzustellen, sind recht aufwendige Algorithmen notwendig.

Durch geschickte Wahl eines Arbeitskoordinatensystems lassen sich die Untersuchungen wesentlich vereinfachen. Wählt man als Untersuchungskordinatensystem ein Koordinatensystem in der zu untersuchenden Fläche, ergeben sich zum Beispiel sehr kurze und schnelle Projektionsroutinen. Stimmen Bildebene und Arbeitskoordinatensystem überein, kann durch einfache Abfragen auf Z-Koordinaten entschieden werden, ob und gegebenenfalls welche Teile einer verdeckenden Störfläche berücksichtigt werden müssen. Derartige Abfragen (Bild 1.16) wendet auch Haake /1.3/ zur Visibilitätsklärung im Globalsystem an.

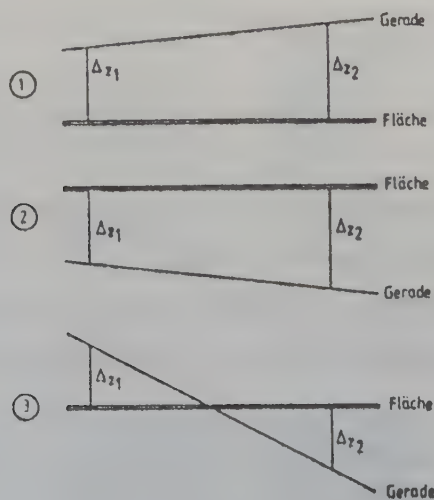


Bild 6.16: Auswerten der Z-Koordinaten zur Sichtbarkeitsentscheidung /1.3/

6.2.5 Darstellung der Analysealgorithmen

Der Algorithmus zur Ermittlung der Flächenverdeckungen läuft vereinfacht wie folgt ab :

Die Störflächen werden in einem Umlaufsinn, die Anschlußflächenpunkte im entgegengesetzten, abgespeichert. Danach werden alle Schnittpunkte der Anschlußflächenkanten mit den Störflächenkanten ermittelt. Als Schnittpunktcharakteristik wird gleichzeitig abgespeichert, ob die Störflächenkante beim Schnittpunkt in die Anschlußfläche ein- oder ausläuft.

Die Schnittpunkte werden entlang der Kanten sortiert. In der Literatur /6.9, 6.10/ werden verschiedene Sortierverfahren vorgeschlagen. Hier zweckmäßig ist ein nach D.L. Shell 'Shellsort' genanntes Verfahren, weil sich damit immer dann schnelle Sortierzeiten erreichen lassen, wenn die Werte bereits eine gewisse Ordnung aufweisen und nicht zu viele Werte sortiert werden.

Der zur Ermittlung der einzelnen sichtbaren Teilflächen entwickelte Hidden-Surface-Algorithmus ist in Bild 6.17 vereinfacht dargestellt.

Beginnend von einem Schnittpunkt einer Anschlußflächenkante mit einer in die Fläche einlaufenden Störflächenkante werden nacheinander solange Anschlußflächenkanten gespeichert, bis ein weiterer Schnittpunkt in einer Kante existiert.

Von dem gefundenen neuen Schnittpunkt aus muß jetzt die Störfläche bis zum nächsten Schnittpunkt umlaufen werden. Wird ein bereits abgearbeiteter Schnittpunkt erreicht, ist eine Kontur geschlossen. Sind dann noch nicht abgearbeitete Schnittpunkte vorhanden, müssen mehrere Teilflächen vorhanden sein.

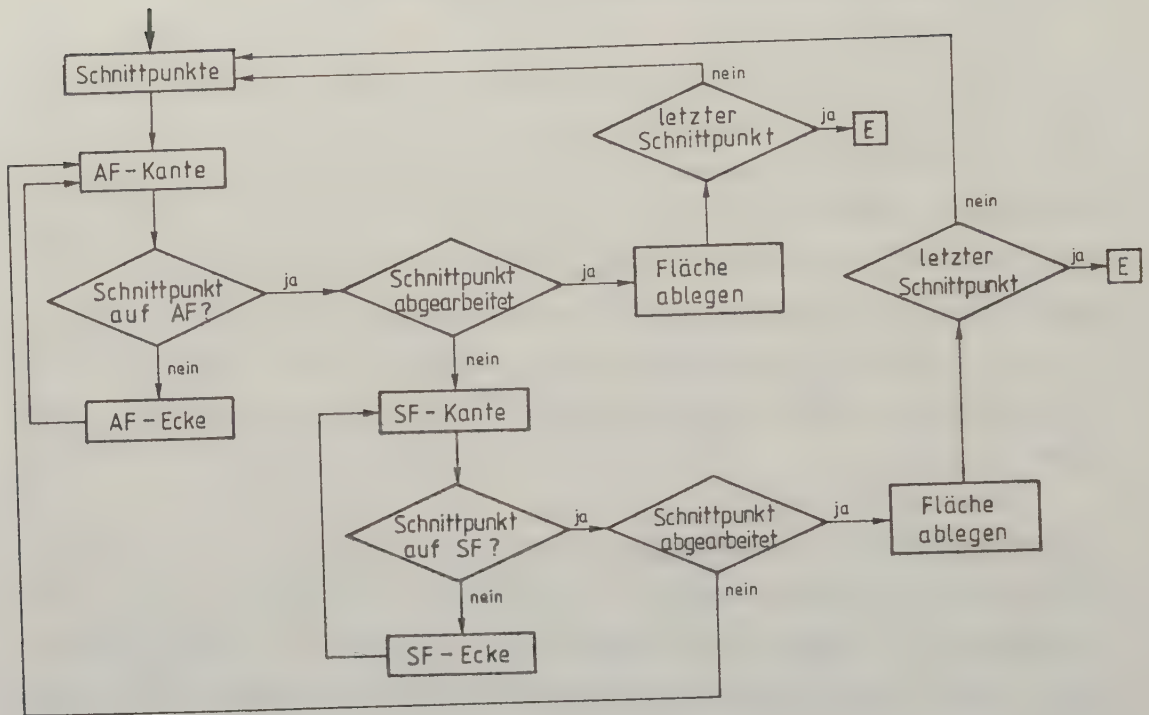
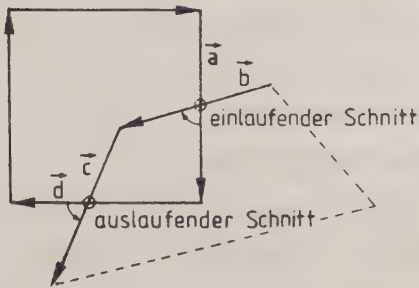


Bild 6.17: Hidden-Surface Algorithmus
(vereinfachte Darstellung)

Liegen Kanten der Störfläche auf Kanten der Anschlußfläche oder Eckpunkte auf Kanten (Bild 6.18), treten bei der Schnittpunktermittlung Punkte mit gleichen Koordinaten, sogenannte Doppelpunkte, auf.

Für die Behandlung dieser Punkte hat sich eine geschlossene Lösung als sinnvoll erwiesen. Sie werden dazu sortiert und bei der Abarbeitung einzelnen Teilflächen zugewiesen (Bild 6.18), bleiben aber soweit notwendig in der Speicherstruktur erhalten. Erst zuletzt werden in den Teilflächen verbliebene Doppelpunkte aussortiert. Hierdurch werden insbesondere die normalerweise auftretenden Probleme mit Kontaktflächen und -kanten umgangen.

1. Schnittpunktcharakteristik

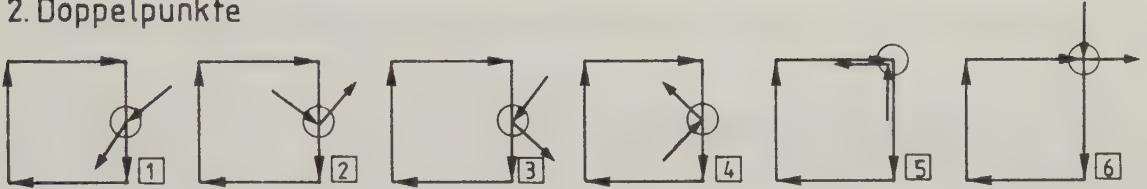


Bedingung (bezogen auf AF-Ebene)

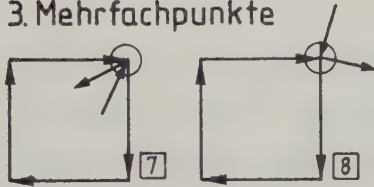
einlaufend : $\vec{a} \times \vec{b} < 0$

auslaufend : $\vec{a} \times \vec{b} > 0$

2. Doppelpunkte



3. Mehrfachpunkte



4. Lösung für die Fälle 1, 2, 3, 6, 8

Regel 1

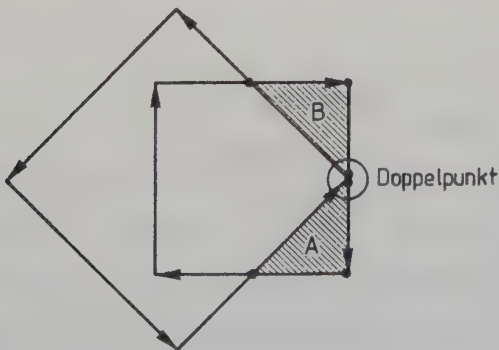
Liegt der einlaufende Schnitt auf dem Ende einer SF-Kante ?
→ Schnittpunkt löschen !

Regel 2

Liegt der auslaufende Schnitt auf dem Anfang einer SF-Kante ?
→ Schnittpunkt löschen !

Fälle 1, 2, 3, 6, 8
sind bereinigt

5. Beispielhafte Lösung für Fall 4



Ein Bereinigen des Doppelpunktes
würde einen algorithmisch regel-
mäßigen Aufbau der Flächen A
und B unmöglich machen.

Bild 6.18: Entstehen und Verarbeitung von Doppelpunkten.

Durch Verdeckungen und Umsortierung mehrfach zusammenhängender Flächen entstehen gegebenenfalls neue Flächen. Werden diese Flächen, unabhängig von den Teilen aus denen sie hervorgegangen sind, in der globalen Datenstruktur gespeichert, können auch sie bauwerks- und teilbezogen transformiert werden. Erst hierdurch werden die Ergebnisse in das für die Konstruktionsmethoden relevante aktuelle Koordinatensystem überführt (Bild 6.19).

Lokale Datenstruktur (II)

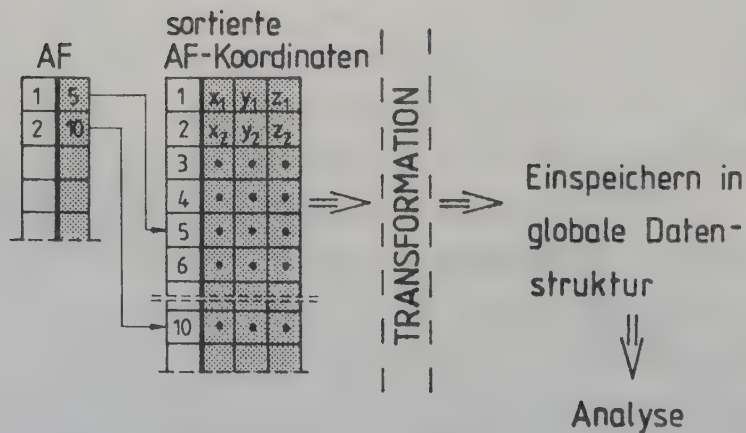
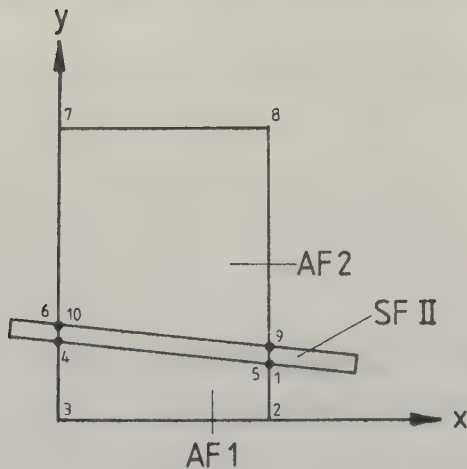


Bild 6.19: Übergang von der lokalen in die globale Datenstruktur

6.2.6 Übergabe der errechneten Informationen an die Wissensbasis

An die Konstruktionsmethode werden außer Geometrieinformationen in Form von erzeugten Konturpunkten auch Lageangaben geliefert. Die Anordnung der Anschlußfläche auf dem Hauptteil wird als Kennung übergeben. EBENE = 1 bedeutet zum Beispiel, daß die abgelieferte Anschlußfläche zur Stegvorderseite des Hauptteils gehört.

Als weitere Vereinfachung werden Anschlußflächen an die Konstruktionsmethode, soweit möglich, nicht durch Übergabe der erzeugten Punkte abgeliefert.

Statt dessen werden für jede Fläche zwei Punkte als Achse mit einer zugeordneten Höhe und Breite und einem Drehwinkel übergeben. Da in den Konstruktionsmethoden ohnehin nur Konstruktionsmaße überprüft werden, ist diese Ausgabe in den meisten Fällen sinnvoller.

Wird mehr als eine Anschlußfläche ermittelt, erfolgt die Ausgabe der gefundenen Flächen sortiert nach der Größe, da wahrscheinlich für den Anschluß die jeweils größte Fläche benutzt wird.

6.3 Schlußfolgerung

In diesem Kapitel wurde die gezielte Informationsauswertung aus den Profildaten und dem rechnerinternen Modell für die Wissensbasis erläutert.

Der Informationsfluß geht dabei statt in das Modell hinein aus diesem heraus. Durch Analyse von Geometrieinformationen durch entsprechende Programmbausteine ist eine zweckmäßige Informationsübergabe an die Wissensbasis vorhanden. Nur so kann der Aufwand für die Verarbeitung von Detailkonstruktionen in technisch sinnvollen Grenzen gehalten werden.

7. INTERAKTIVE KOMMUNIKATION DES SYSTEMS MIT DEM ANWENDER

Bei komplizierten Konstruktionen treten häufiger Situationen auf, die nicht mehr eindeutig entscheidbar sind, da mehrere gleichwertige Alternativen zur Verfügung stehen. Bei diesen Ermessensfragen soll der Benutzer steuernd und korrigierend eingreifen können. Das gleiche gilt für Sonderkonstruktionen (Bild 7.1), bei denen nur Teilaufgaben von den vorhandenen Wissensbasen gelöst werden können. Der Benutzer soll ohne den Umweg über die Entwicklung einer eigenen Wissensbasis in die Lage versetzt werden, derartige Konstruktionen im Dialog mit dem Rechner auszuführen.

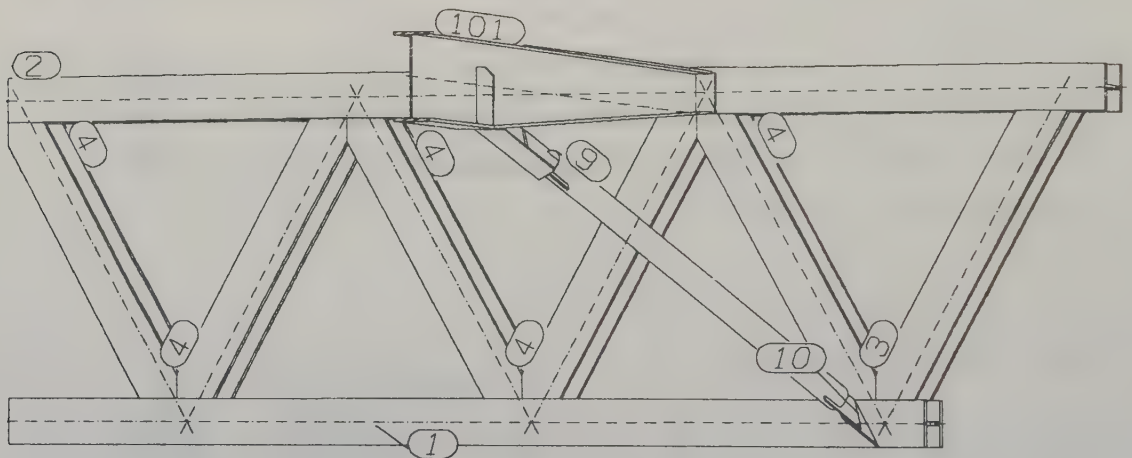


Bild 7.1: Sonderkonstruktion

Bei umfangreichen Ansteuerungsmöglichkeiten einer Konstruktionsmethode können widersprüchliche Steuerungen durch den Benutzer gewählt werden. Auch hierbei ist es sinnvoll, den Benutzer im Dialog Schritt für Schritt an die richtige Eingabe heranzuführen und ihm nur Steuerungen anzubieten, die sich nicht gegenseitig widersprechen.

Hierbei muß zwischen dem Basismenue und den Anwendermenues unterschieden werden. Das Basismenue enthält grundsätzlich benötigte Menuefelder, mit denen beispielsweise Konstruktionspunkte erzeugt werden können, daneben aber auch alle diejenigen Felder, die der Auftragsorganisation und der Bildverwaltung dienen. Das Basismenue kann jederzeit angesprochen werden.

Die Anwendermenues sind nach Aufgabenbereichen untereinander und vom Basismenue getrennt und können anwendungsbezogen erstellt werden. Teilerzeugung, Teilmodellierung, Konstruktionsdetaillierung und rein graphische Zeichnungsbearbeitung sind beispielsweise in unterschiedlichen Anwendermenues zusammengefaßt.

Innerhalb eines Menues wird zwischen Organisations- und Aktionsfeldern unterschieden. Mit Hilfe der Organisationsfelder können die Voreinstellungen der Wissensbasis verändert und auftragsspezifische Werte wie Profile gewählt werden. Nach dem Digitalisieren eines Aktionsfeldes werden die auszuführenden Teile der angeschlossenen Wissensbasis aufgerufen.

Jede der Interaktivsteuermethoden enthält Ablaufmeldungen, mit denen alle im Benutzerdialog ausgeführten Aktionen in Protokolldateien so dokumentiert werden, daß sie reproduzierbar sind. In diesen Steuermethoden wird außerdem entschieden, ob es sinnvoll ist, die angeforderte Aktion direkt auszuführen oder nur zu protokollieren.

Zur Zwischenspeicherung der Anschlüsse, verbundenen Stäbe und maßgebenden Knoten wird die im Kapitel 5 dargestellte Datenstruktur verwandt. Sobald der Anwender die Konstruktionsbeschreibung beendet, wird die zwischengespeicherte Information ausgegeben und kann später durchgerechnet werden.

Wartezeiten bei der Detaillierungsausführung werden so vermieden. Der Konstrukteur arbeitet bei der Problemformulierung fast verzögerungsfrei.

Bei einem Vergleich des Menuefeldausschnittes (Bild 7.2) mit dem bisher bekannten in der Literatur beschriebenen Aufbau entsprechender Menuefelder (Bild 7.3), fällt die geringe Anzahl auszuführender Befehlsfelder auf.

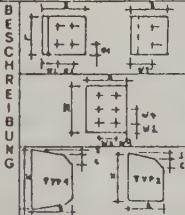
MENUEFELD TYPVER																		
PROTOKOLLE	WINKELANSCHLÜSSE			STIRNPLATTEN			STEIFEN			ENDE								
	BDS	TV	LS	BBS	TV	LS	BBS	TV	LS									
LÖSCHEN	WINKELANSCHLUSS			STIRNPLATTE			STEIFE			NR.=	I	IPB IPBL IPBV	(-)	E	ZAHL LÖ- SCHEN			
AUSGABE	AUF			AUF			AUF			IPE		U		7	8	9		
	BDS	TV	LS	BDS	TV	LS	BBS	TV	LS									
BESCHREIBUNG 	WINKELAN- SCHLUSZ- NR.=			H	B	T	W1	W2	W3	W4	L	NX	NY	D	ABLEGEN	4	5	6
	STIRN- PLATTE- NR.=			H	B	T	W1	W2	W3	W4	NX	NY	D	ABLEGEN		1	2	3
	STEIFE NR.=			H	B	T	C	S	I	IPB IPBL IPBV	IPE	U	TYP	ABLEGEN		0	0	ZAHL ENDE

Bild 7.3: Menuefeld zur Typenkonstruktion nach Franke /5.3/

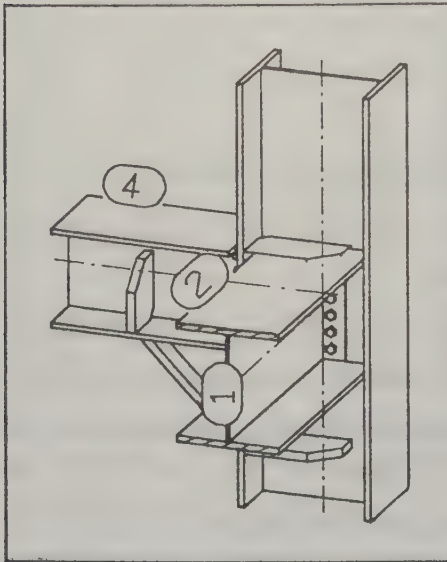
Nur noch in Ausnahmesituationen benötigt der Anwender die in Bild 7.3 dargestellten Geometriemaße und Typenbezeichnungen. Als Sondereingabe sind sie über den Bildschirm anwählbar, werden aber im Normalfall in der Wissensbasis automatisch ermittelt.

7.2 Interaktive Nachbearbeitung

Ist die Konstruktion durchgelaufen, kann das gesamte Modell vom Benutzer interaktiv vervollständigt oder korrigiert werden. Dazu können bestehende Teile oder Verbindungen gelöscht oder hinzugefügt werden. Durch interak-

tive Nachbearbeitung kann die Konstruktion vollständig ohne Ausnahmen im Rechner dargestellt werden. Hierdurch entfallen die bei der Nachbearbeitung von Hand entstehenden Schnittstellenprobleme. Typisch für einen interaktiven Eingriff ist die Bereinigung eines Kollisionsknotenpunktes (Bild 7.4)

Darstellung des Problempunktes



interaktive
Eingabe der
Ausklinkmaße

Endergebnis

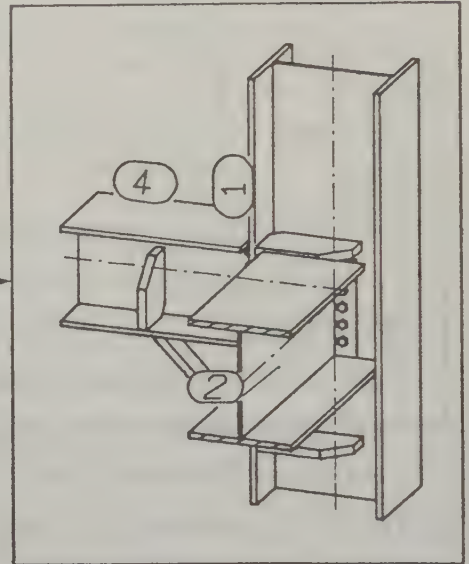


Bild 7.4: Kollisionsbereinigung durch nachträgliches interaktives Ausklinken

7.3 Struktur der Wissensbasis zur Interaktivsteuerung

Die interaktive Benutzerführung wird wie der Konstruktionsablauf in Regeln gefaßt. Will der Anwender ein Teil verlegen, muß er zunächst die Bezugspunkte am Bildschirm identifizieren. Nach der Eingabe wird überprüft, ob sie sinnvoll war. Ist dies nicht der Fall, weil die Bezugspunkte zum Beispiel den Abstand Null haben, wird eine

Korrektur abgefragt. Ähnliches gilt für Detaillierungselemente. Der Benutzer teilt dem System seine Wünsche mit und gibt auf Anfrage erforderliche Zusatzinformationen.

Die Hauptarbeit der Steuermethoden besteht darin, Fehlerzustände rechtzeitig zu erkennen und den Anwender zu warnen, bevor Folgefehler auftreten. So wird bei der Eingabe eines Profils dessen Existenz in der Datenbank geprüft, damit die Eingabe gegebenenfalls sofort korrigiert werden kann.

Die Wissensbasis zur interaktiven Bearbeitung verwaltet den Informationstransfer zwischen dem Konstrukteur, den Wissensbasen zur Konstruktion und dem Expertensystem. Diese Methoden sind den eigentlichen Konstruktionsmethoden daher übergeordnet.

Die Grobstruktur der Wissensbasis ist in Bild 7.5, die Feinstruktur in Bild 7.6 dargestellt.

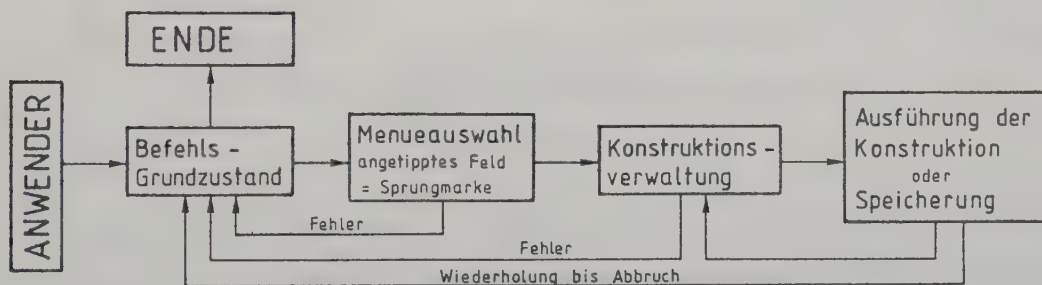


Bild 7.5: Grobstruktur: Wissensbasis 'Interaktivkonstruktion'

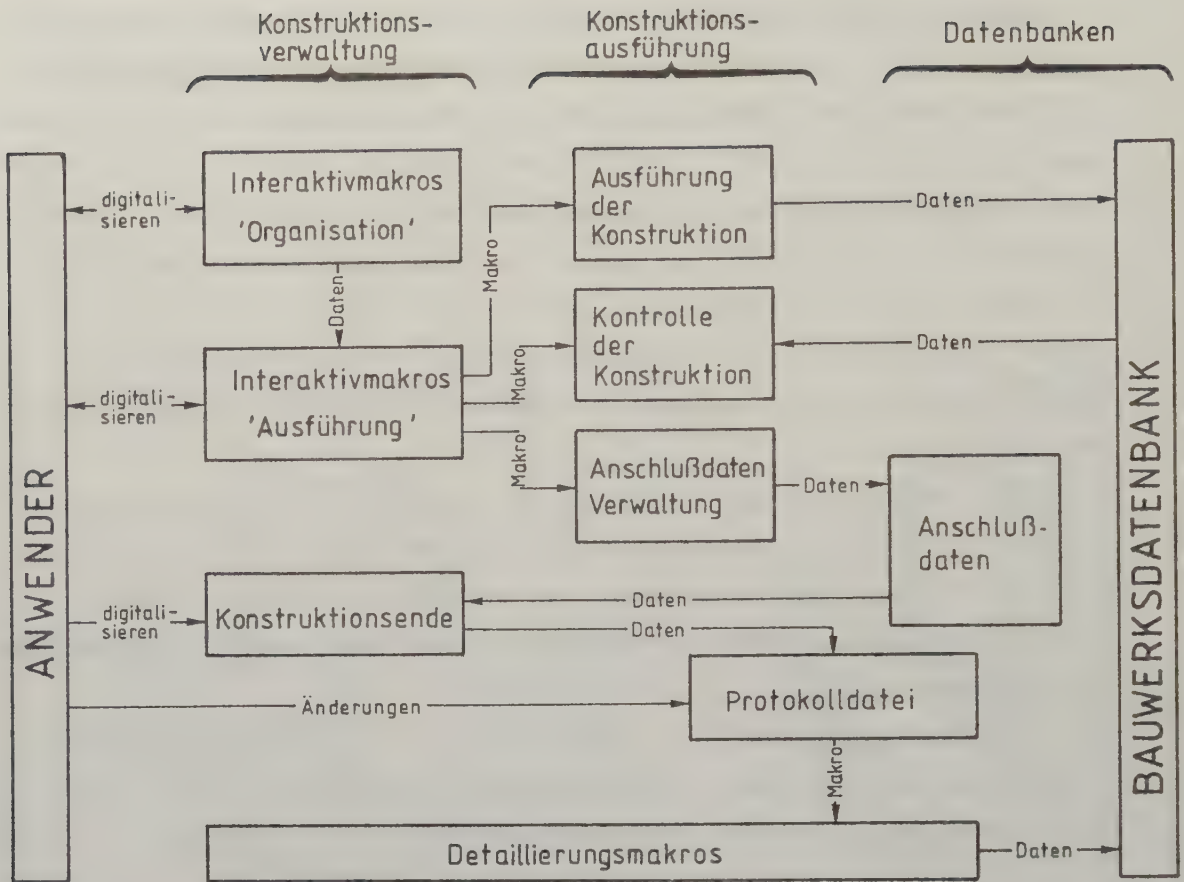


Bild 7.6: Feinstruktur: Konstruktionsverwaltung in der Wissensbasis 'Interaktivkonstruktion'

Bei beratenden Expertensystemen ist der Interaktivteil mit entsprechender Erklärungskomponente für gewählte Regeln Bestandteil des Systems.

Der Erklärungsteil des hier verwendeten Expertensystems vom Typ **Konfigurationssystem** /7.2/ unterscheidet sich hiervon deutlich. Da die Kommunikation Anwender - System durch die in Bild 7.6 dargestellte Wissensbasis gesteuert wird, wird auch in dieser anwendungsbezogen festgelegt, wie etwas dem Benutzer erläutert wird. Im wesentlichen erfolgt die Kommunikation dabei über die Zeichnung (vergl. Bild 7.4), die viel informativer als ein Text ist.

Bild 8.2: Übersichtszeichnung einer ausgeführten Konstruktion (Fackelgerüst)

Die Methoden für Verbandskonstruktion teilen sich in Methoden zur Rohteilgenerierung und zur Detaillierung. Da die einzelnen Verbandsstreben mitunter aus mehreren Profilen zusammengesetzt sind, bietet sich die Baugruppe als Organisationseinheit für die Rohteilgenerierung an.

Je Knoten müssen in der Regel mehrere Verbandsstäbe angeschlossen werden. Um die Eingabe für die Anschlüsse der Verbandsstäbe übersichtlich zu gestalten, erfolgt die Eingabe zum Anschlußdetail jedes Stabes bei der Staberzeugung. Als Nebeneffekt kann dabei ausgenutzt werden, daß Verbandskonstruktionen in der Regel Fachwerkkonstruktionen sind, also an beiden Enden jedes Fachwerkstabes gleiche Kräfte auftreten. Die Eingabe für ein Stabende kann daher meist für das andere Ende als Voreinstellung übernommen werden.

Bild 8.3 /5.8/ zeigt die verwendbaren Verbandsstabtypen. Die Auswahl erfolgt mittels eines Schlüsselwortes, welches den Kennbuchstaben des Profiltyps und Nummern zur Kennzeichnung der Profilanordnung enthält.

Die Ansichten werden ausgehend davon, in welchem Quadranten die einzelnen Diagonalstäbe liegen, durchnumeriert. Eine nachgestellte Bezeichnung Q deutet an, daß der kürzere und der längere Profilschenkel vertauscht sind.

(Dieser Tauschvorgang beinhaltet methodenseitig eine zum Teil aufwendige Beschreibungsform in gespiegelten Ansichten). Die Winkel werden immer typunabhängig vom Anfangs- zum Endpunkt verlegt. Hierdurch wird innerhalb einer Verbandsstrebe bereits durch die Rohteilgenerierung eine Richtungsnormierung erreicht.

Sind sämtliche beteiligten Diagonalen verlegt, kann die Verbandsdetaillierung durchgeführt werden. In der Verwaltungsmethode sind mehr als 40 Steuerparameter vorhanden, die eine individuelle Steuerung der Konstruktion für Sonderfälle möglich machen.

Übersicht: D I A G O N A L E N T Y P E N

Die Konstruktionsmethode DIAGON stellt dem Benutzer eine Reihe von Diagonalentypen zur Verfügung, die im weiteren Konstruktionsablauf von der Methode KNBL4 weiterverarbeitet werden können.

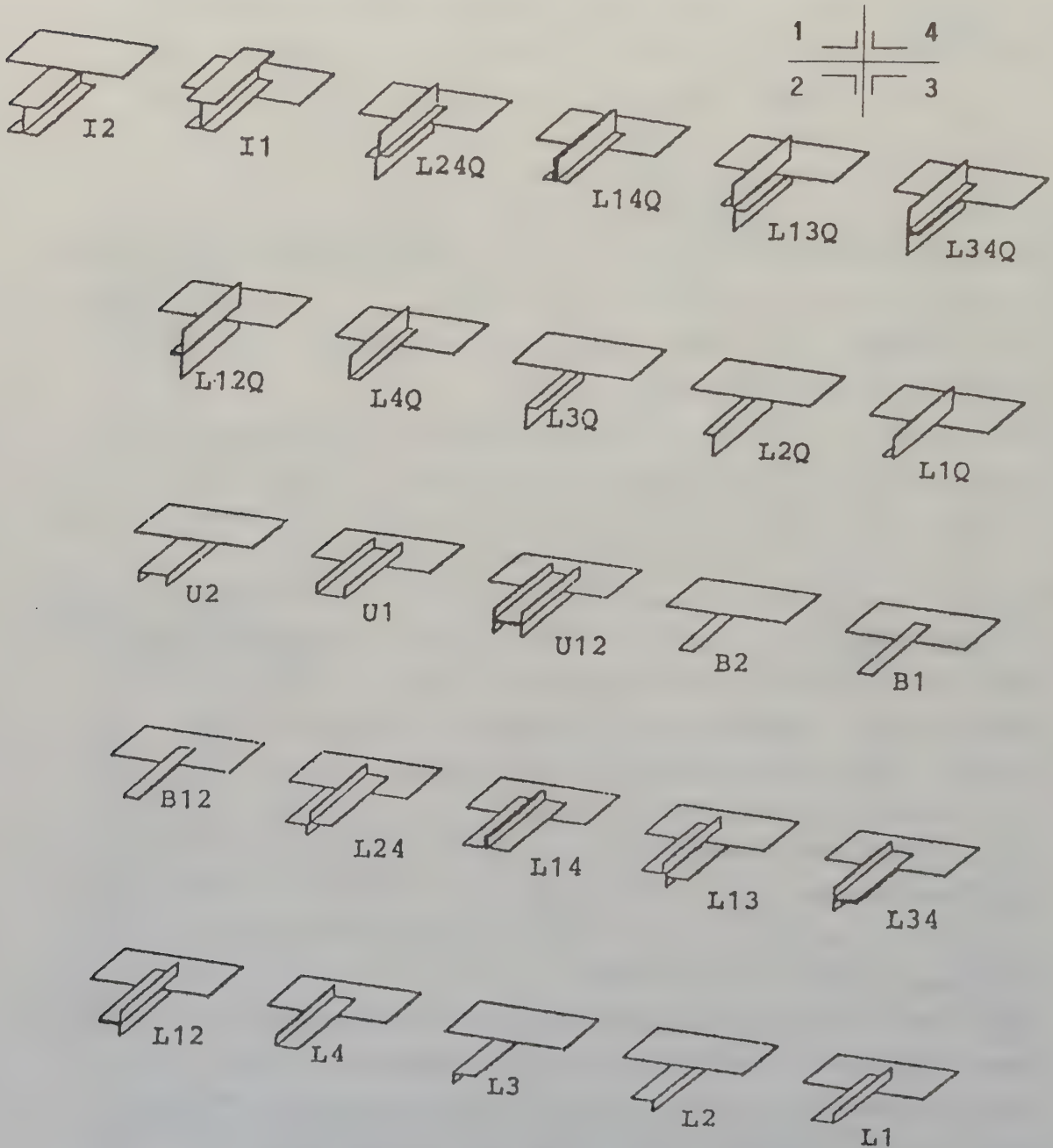


Bild 8.3: Diagonalentypen /5.8/

Die Parameter dienen zum Beispiel zur Angabe besonderer Schraubendurchmesser, -anzahlen, -typen und -strukturen, zur Steuerung einzuhaltender Sicherheitsabstände der Diagonalen untereinander und zu den Hauptträgern und zur Materialangabe. Daneben kann mit Hilfe der Parameter auch die Auswahl der Regeln zum Konturaufbau beeinflußt werden, so daß die Methode einer rechteckigen Blechform (Schlagscherenbearbeitung) den Vorzug vor einer Form mit vielen Abschnitten gibt (Brennschneidbearbeitung).

Von diesen Steuerparametern ist allerdings nur einer obligat, mit dem der Konstruktionsmethode mitgeteilt wird, welcher Diagonalstab angeschlossen werden soll. Die Steuerparameter werden an dieser Stelle nicht erklärt, da sie im Methodenbankhandbuch /5.8/ ausführlich erläutert sind und der allgemeine Lösungsweg davon unabhängig ist. Bei der Konzeption der Methoden wurde sowohl eine Vorgehensweise nach algorithmisierbaren Regeln als auch nach Erfahrungswerten berücksichtigt.

Die Konstruktion der Verbandsknoten folgt im wesentlichen der Regel, kleine Knotenbleche zu erzeugen. Eine derartige Regel ist durch Vergleich der geometrischen Abmessungen und Einhalten der vorgegebenen Mindestabstände algorithmisch kontrollierbar. Schwieriger ist die Berücksichtigung von Erfahrungswerten. Zum Beispiel wurden die Schrauben im Anschluß des Blechs an den Hauptträger äquidistant angeordnet. Auf der Baustelle wurden danach versehentlich asymmetrische Bleche seitenverkehrt montiert. Um diesen Fehler durch die Konstruktion unmöglich zu machen, wurden die Schrauben auf einer Seite um 20 mm ausgerückt. Derartige Einflüsse lassen sich nicht mit logischen Regeln herleiten, sie können nur im Einzelfall berücksichtigt und als Faktenwissen in die Voreinstellungen übernommen werden.

8.2 Systemaufbau der Verbandsmethoden

Aus dem theoretischen Aufbau der Konstruktionsmethoden (Bild 5.14, 5.17) leitet sich die praktisch realisierte Struktur der Methodenbank ab (Bild 8.4).

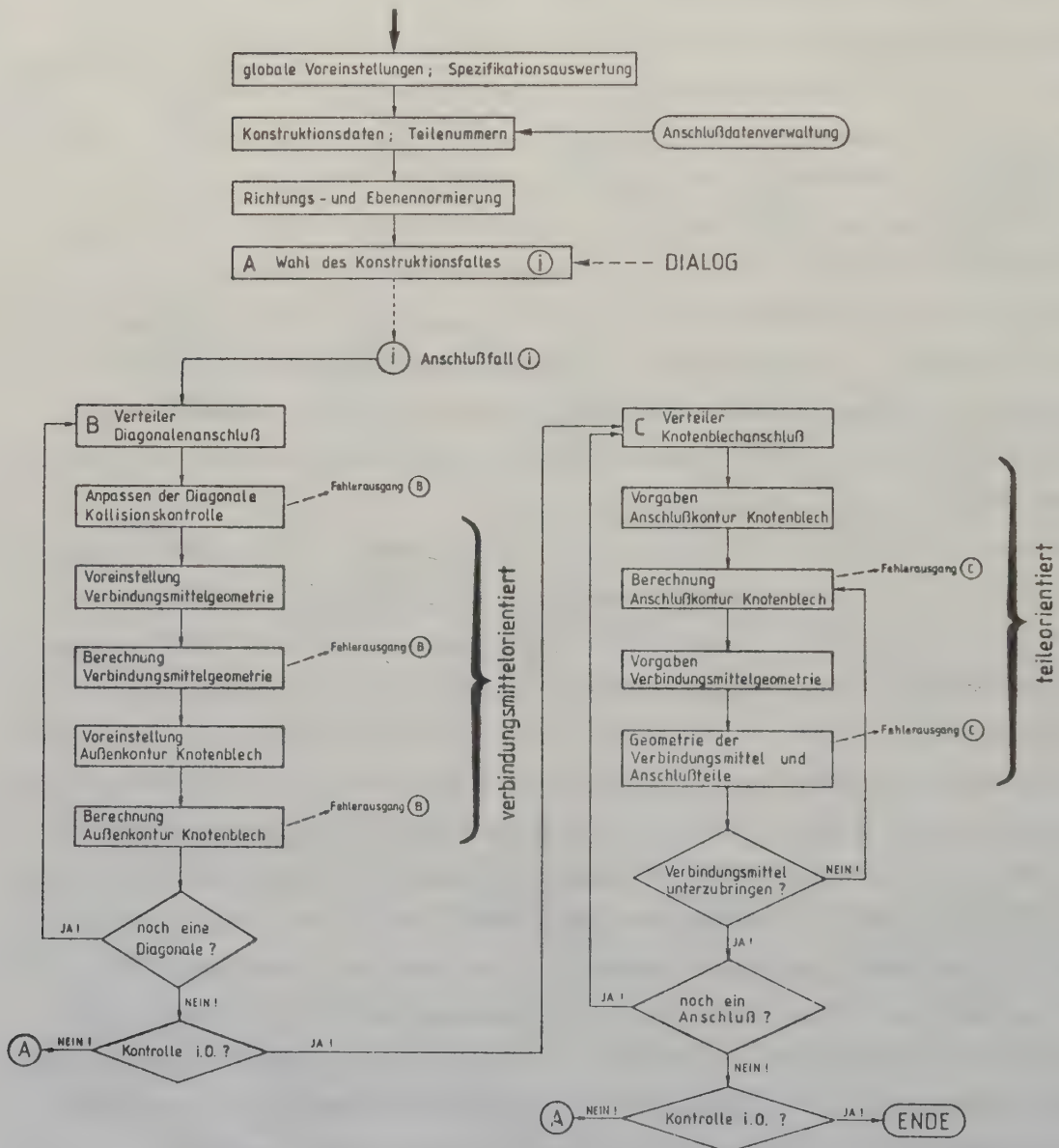


Bild 8.4: Systemaufbau der Verbandsmethoden

Wie aus dem Systemaufbau ersichtlich ist, enthält die übergeordnete Systemverwaltung Anteile zur Berücksichtigung bereits konstruierter Details. Das setzt natürlich voraus, daß die Konstruktion nicht nach Anteilen getrennt sequentiell abläuft, sondern zum Teil iterativ. Ein Knotenblech kann an zwei Anschlußkanten anschließen. An jeder kann ein unterschiedlicher Anschlußtyp gewählt werden. Auf der freien Seite können bis zu drei Diagonalen angeschlossen werden (Bild 8.5).

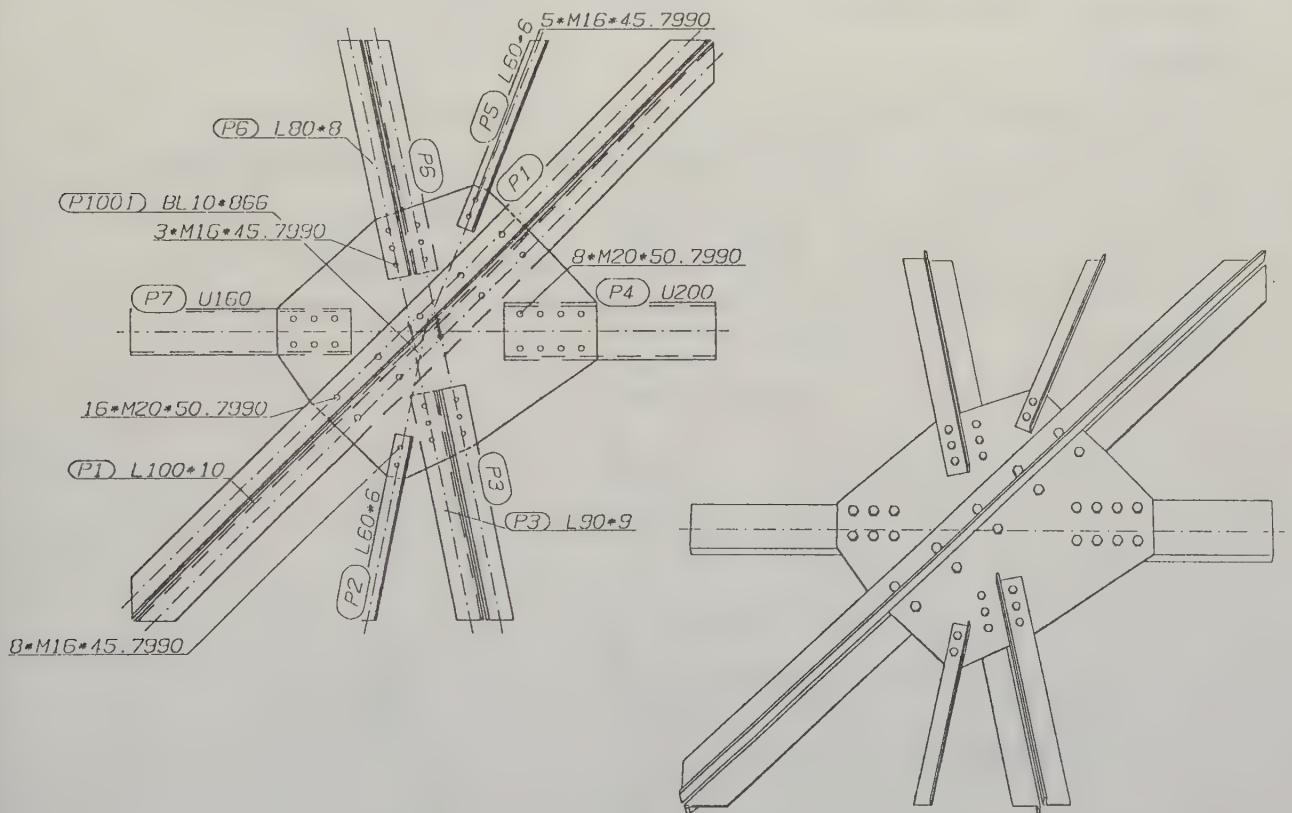


Bild 8.5: Knoten mit 6 beteiligten Anschlußteil-Richtungen

Auch wenn bei zwei Anschlußkanten nur die drei häufigsten Anschlußtypen, Schweiß-, Beiwinkel- und Laschenkonstruktionen, berücksichtigt würden, entstünden bei unabhängiger Programmierung bereits 27 Fälle. Würde konsequent jede Kombination, die in der bestehenden Fassung

bei den erwähnten über vierzig Steuerungsmöglichkeiten sinnvoll ist, abgespeichert, wären weit über 1000 Fallunterscheidungen notwendig.

Bei Anschlußkonstruktionen eines Trägers an einen anderen ist eine klare Trennung der einzelnen Detaillösungen möglich, da sie isoliert ausgeführt werden können.

Beeinflussen sich die Elemente gegenseitig, muß dieser Effekt durch übergeordnete Steuerung und Berücksichtigung von Randbedingungen in der Detaillösung abgefangen werden.

Ein Hilfsmittel dazu ist die bereits erwähnte geometrische Normierung. Bei der Ausbildung eines Verbandsknotens sind die unterschiedlichsten Richtungen denkbar, in denen die beteiligten Stäbe generiert wurden (Bild 8.6). Diese Generierungsrichtungen bleiben bei der Teileuntersuchung erhalten.

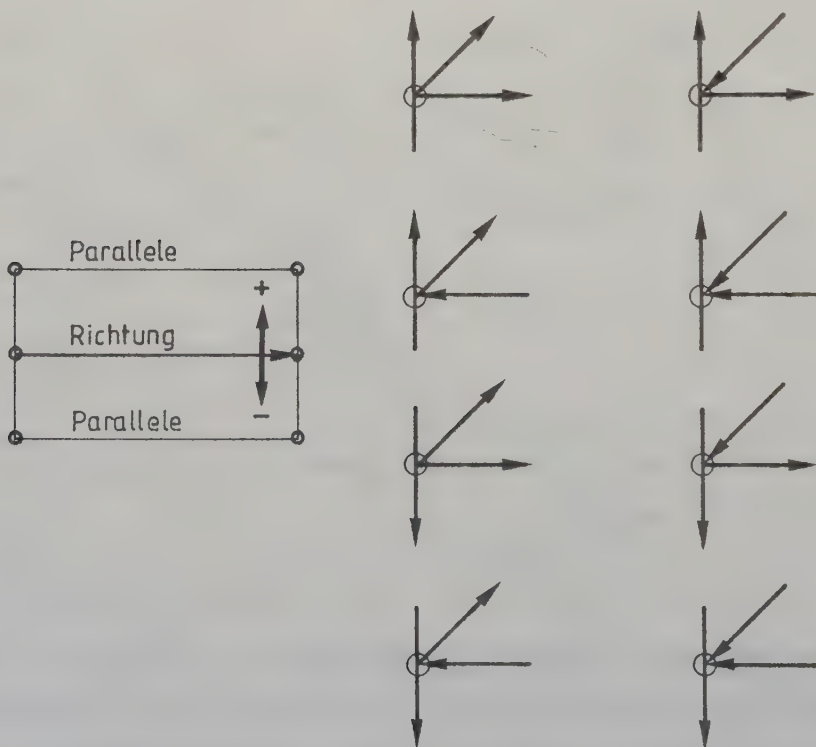


Bild 8.6: Unterschiedliche Generierungsrichtungen mit einem Beispiel für ihren Konstruktionseinfluß

Da die Geometrieoperationen zum Beispiel bei der Erzeugung von Konstruktionspunkten richtungsbehaftet ablaufen (Bild 8.6), müßte jeder der in Bild 8.6 dargestellten Fälle gesondert behandelt werden. Um dies zu vermeiden, wird vor der Konstruktionsausführung durch Tauschen der Richtungen immer ein normiertes Rechtssystem als Grundsystem aufgebaut (Bild 8.7).

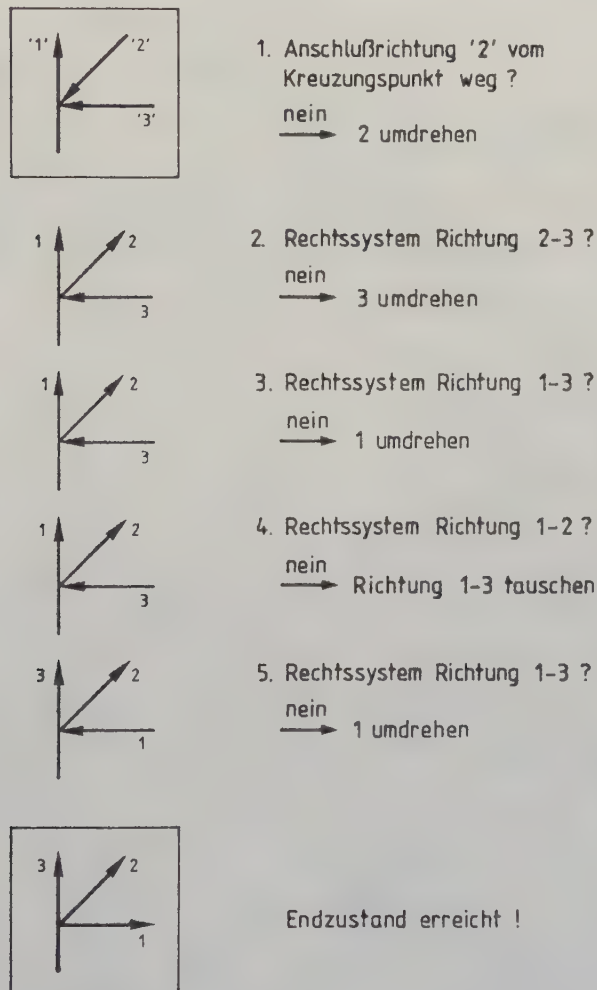


Bild 8.7: Beispiel für den Aufbau eines normierten Rechtssystems

Das Verfahren kann analog für beliebige Richtungsanzahlen angewandt werden. Im Prinzip werden dabei die durch Hauptanschlußrichtungen getrennten Sektoren getrennt sortiert.

Die einzelnen Anschlußbereiche werden in ähnlicher Weise normiert, dabei ist der Unterschied zwischen verbindungsmittel- und teileorientierten Konstruktionen zu beachten.

Wird eine verbindungsmittelorientierte Konstruktionsweise zu Grunde gelegt, müssen die Abmessungen der einzelnen Anschlußbilder gespeichert werden.

Die Vereinheitlichung unterschiedlicher Anschlußbilder beschränkt sich in diesem Fall auf die Definition gemeinsamer Anschlußbereiche, da die Abstände der einzelnen Verbindungselemente untereinander gleich sein müssen, wenn die Elemente gleich sind (Bild 8.8).

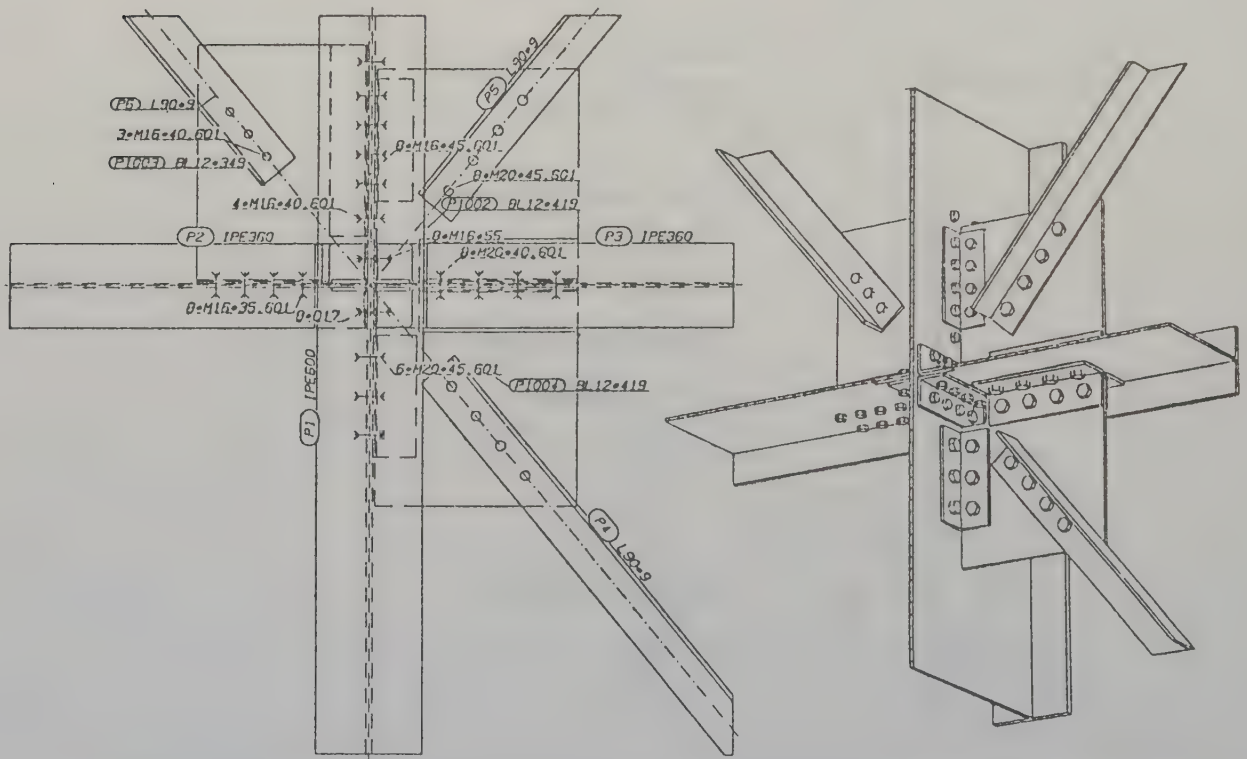


Bild 8.8: Anschlußbereiche verbindungsmittelorientiert

Die Verbindungsmittel haben unterschiedliche Abstände, wenn sie sich nach dem aufgrund der Teilelagen zur Verfügung stehenden Platz richten. In diesen Fällen muß zunächst ein maßgeblicher Fall bestimmt werden, für den dann eine einheitliche Anschlußstruktur aufgebaut wird (Bild 8.9).

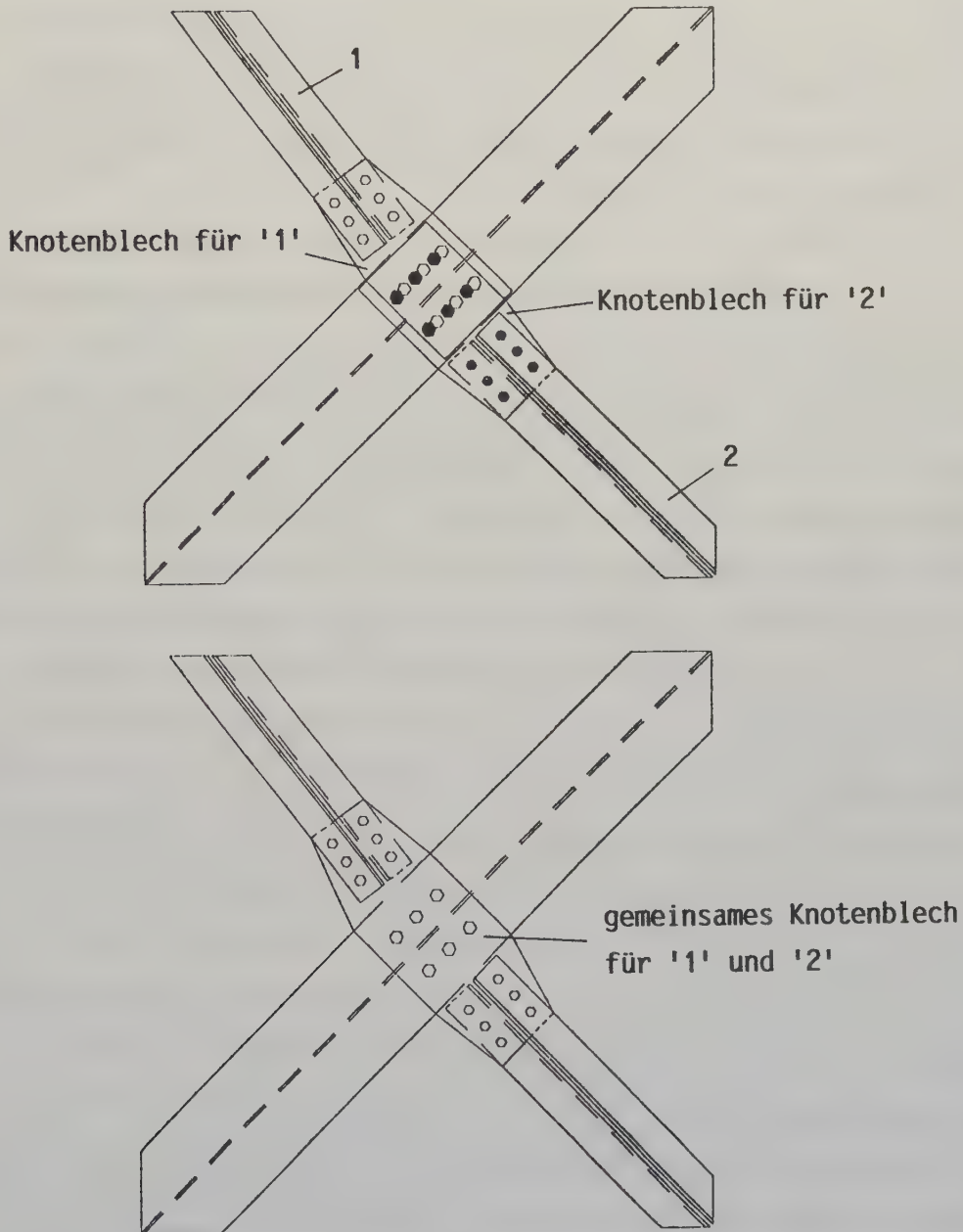


Bild 8.9: Vereinheitlichung von Schraubenverteilungen im Anschlußfall 'übergreifende Lasche'

Da gegebenenfalls verschiedene Konstruktionsteile aufeinander Einfluß nehmen, werden die Informationen aus allen Teilkonstruktionen an gemeinsam zugreifbarer Stelle gesammelt und mit Hilfe der im Kapitel 5.2.4 erläuterten Datenstruktur verwaltet.

Mittels Kommunikationsmakros werden die Anschlußinformationen der einzelnen Detailkonstruktionen aufgesammelt und können, von den übergeordneten Verwaltungsmakros aufbereitet, im nächsten Detailschritt wieder zur Verfügung gestellt werden.

Für den Anschluß des Knotenblechs an den Hauptträger wird die Anschlußlänge zunächst so vorgegeben, daß die Gesamtgeometrie des Bleches unter Berücksichtigung der Diagonalanschlüsse möglichst rechtwinkelig ausgeführt werden kann. Hierbei kann jedoch der Fall eintreten, daß die notwendigen Schraubenabstände unterschritten werden müßten, um alle Schrauben in dieser Anschlußfläche unterzubringen. In diesem Fall wandelt sich der Konstruktionsablauf von einem teileorientierten in einen verbindungsmittelorientierten. Die Schraubenlage wird vorgegeben und das Blech entsprechend angepaßt. Als Nebenkriterium ist zusätzlich zu beachten, daß die Kontur immer konvex ausgeführt wird. Diese Bedingung wird im Konstruktionsablauf zunächst nicht eingehalten. Erst bei der Konturgenerierung werden konkave Ecken ausgefiltert. So entfällt ein Großteil ansonsten notwendiger Sonderuntersuchungen. Bei vergleichbaren anzuschließenden Diagonalprofilen ergeben sich damit auf Anhieb gute Ergebnisse. Sind die Profilgrößen stark unterschiedlich, muß nach der Konturgenerierung überprüft werden, ob der einzuhaltende Maximalabstand der Schrauben vom Blechrand nirgendwo überschritten wurde (Unterrostungsgefahr). In fast allen Fällen wird der komplizierteste Konstruktionsfall als Standardfall voreingestellt. Die Anzahl der

Konturpunkte der Diagonalenanschlußkontur des Knotenblechs ist daher zu sechs vorgegeben. Sind weniger Diagonalen anzuschließen, werden die überflüssigen Punkte auf benachbarte Konstruktionspunkte gelegt. In der Datenstruktur können sie dann als Doppelpunkte ohne weitere Untersuchung ausgefiltert werden. Hauptgrund für diese auf den ersten Blick als Umweg erscheinende Vorgehensweise ist die damit erzielbare drastische Reduzierung auftretender 'Sonderfälle'. Nur so kann die Anzahl der zu betrachtenden Logikverzweigungen ohne Leistungsverlust begrenzt werden.

8.3 Methodenoptimierung bei Wiederholelementen

Bei Serienkonstruktionen wiederholen sich die Geometrie-verhältnisse und die Anschlußelemente. Werden alle Anschlußelemente in einer Baugruppe zusammengefaßt, was im angewandten Expertensystem einer Bauteilbeschreibung entspricht, können diese als Gruppe positioniert werden. Dabei entfällt bei Wiederholelementen der Aufwand zur Bestimmung der Lage der einzelnen Anschlußelemente.

Bei dieser Beschreibungsart ergeben sich zwangsläufig Probleme bei der Ausführung der Verbindungen zwischen Wiederholelement und Umgebung. Die Zuordnungen dieser Verbindungen zu den Teilen müssen im Anschluß an die Positionierung umdefiniert werden.

9. CAD-EIGNUNG DER KONSTRUKTION

Am Beispiel einer im Rahmen des Forschungsprojektes konstruierten und danach gefertigten Kraftwerksbühnenkonstruktion (Bild 9.1) sollen zum Abschluß Kriterien zur Beurteilung des Aufwandes, der zur Entwicklung auftragsbezogener Methoden notwendig ist, dargestellt werden. Die Konstruktion hat Abmessungen von 40 x 25 m und ein Gewicht von 300 Tonnen. Sie ist somit in ihrer Größenordnung durchaus repräsentativ für die praktische Anwendung.

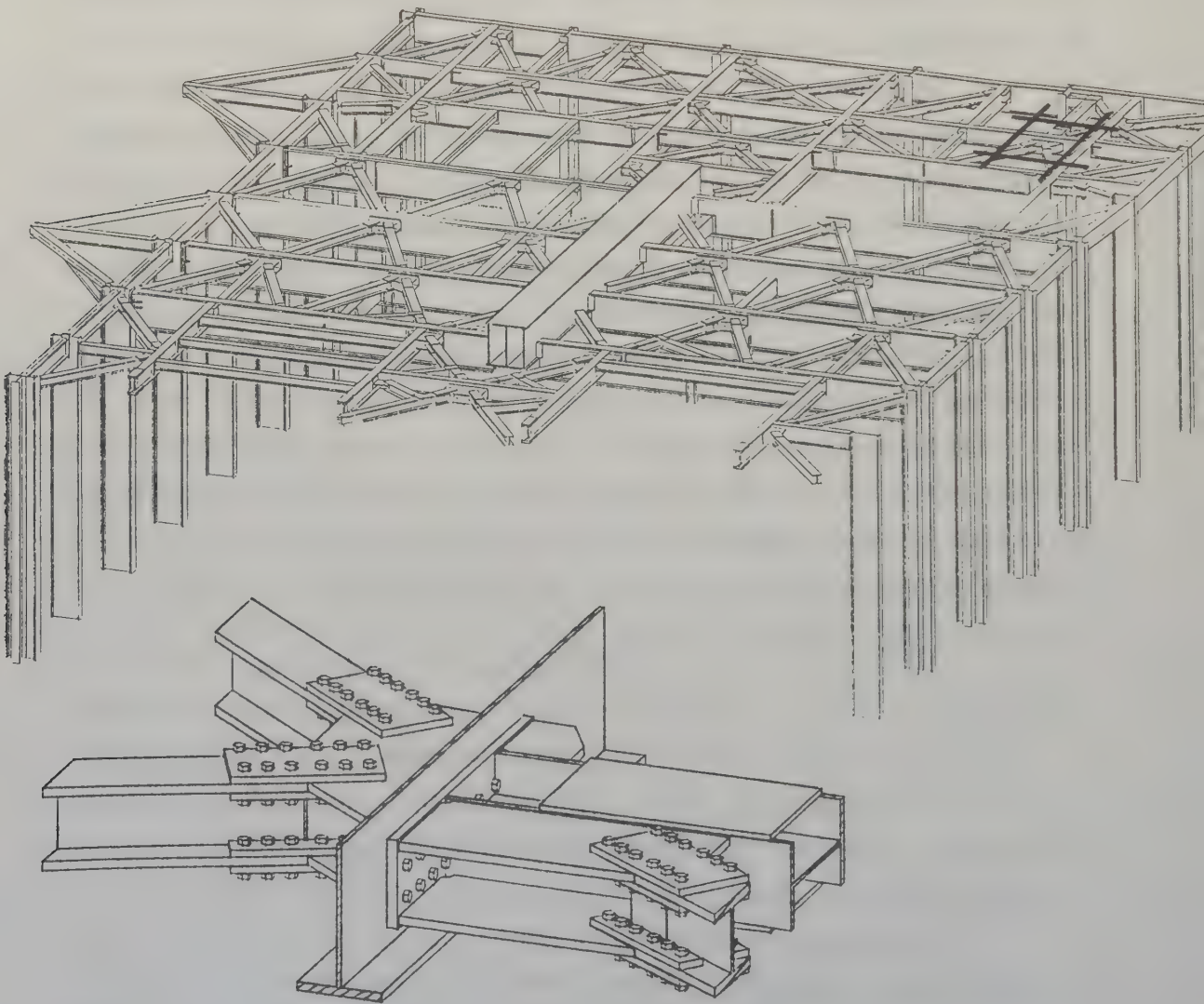


Bild 9.1: Kraftwerksbühne mit Detail

Zunächst muß die Anwendbarkeit bestehender Konstruktionsmethoden überprüft und gegebenenfalls der Aufwand zur Entwicklung neuer Methoden, unter Berücksichtigung vorhandener Basiselemente, abgeschätzt werden. Eignungsmerkmale einer Konstruktion für die 3D-CAD-Bearbeitung wie sie Abramovici im Maschinenbau aufgestellt hat /9.1/, können ergänzend für die Beurteilung herangezogen werden. Bei Stahlkonstruktionen hängt der Entwicklungsaufwand erfahrungsgemäß von weniger Merkmalen ab als im Maschinenbau. Die Anzahl der sich in einem Anschluß gegenseitig beeinflussenden Anschlußteile (strukturelle Komplexität), die Funktionsvielfalt der Anschlußkonstruktionen eines Typs (funktionelle Komplexität) und die Anzahl zu berücksichtigender Konstruktionsebenen (geometrische Komplexität) haben den stärksten Einfluß. Der Auswirkung auf den Entwicklungsaufwand ist nach Erfahrungswerten ausgeführter Konstruktionen in Bild 9.2 dargestellt.

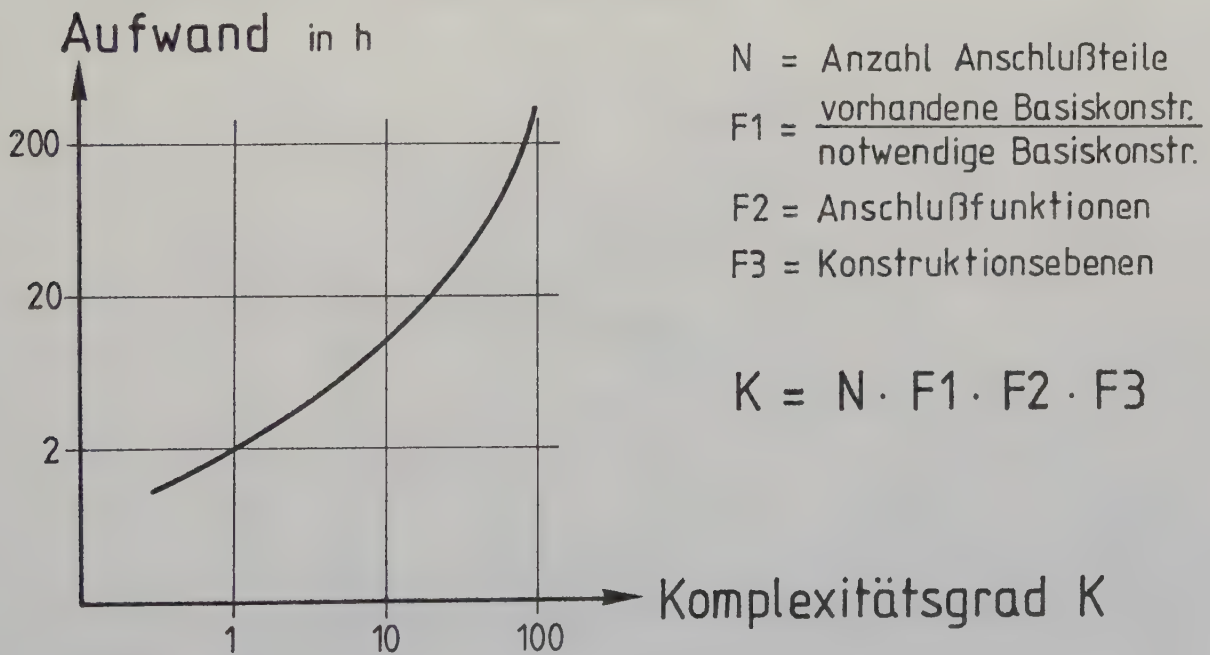


Bild 9.2: Entwicklungsaufwand

Anhand der 40 Verbandsknoten der Bühne (Bild 9.1) wird im folgenden die Abschätzung des auftragsspezifischen Entwicklungsaufwandes erläutert.

Aus Transport- und Montagegründen sollten möglichst viele gleich lange Diagonalstäbe trotz unterschiedlicher Feldweiten konstruiert werden. Eine solche Optimierung der Konstruktion ist am einfachsten durch Vorgabe von Ziel-längen nach einmaligem normalen Durchlauf und Längenausgleich in der Knotenkonstruktion möglich, da die Ver-träglichkeit der feldübergreifenden Knotenausführungen gewahrt werden muß.

Zur schnellen, selbständigen Bearbeitung dieser Problemstellung durch das System wurden drei neue Knotentypen aus bestehenden Lösungen hergeleitet, deren Entwicklungs-aufwand vorher, wie folgt, recht genau ermittelt wurde:

Verbandsknoten Typ1 - 1 Diagonale - max. 12 Anschlußteile
Verbandsknoten Typ2 - 2 Diagonalen - max. 24 Anschlußteile
Verbandsknoten Typ3 - 3 Diagonalen - max. 21 Anschlußteile
(Bilder 9.3 - 9.5)

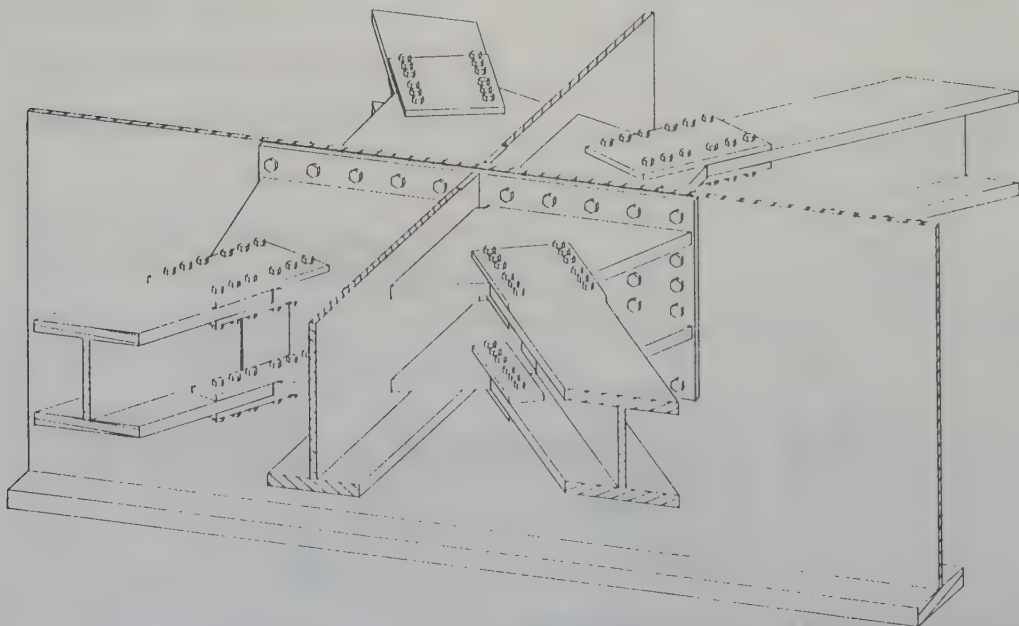


Bild 9.3: Verbandsknoten Typ 1 kombiniert mit Träger-anschluß

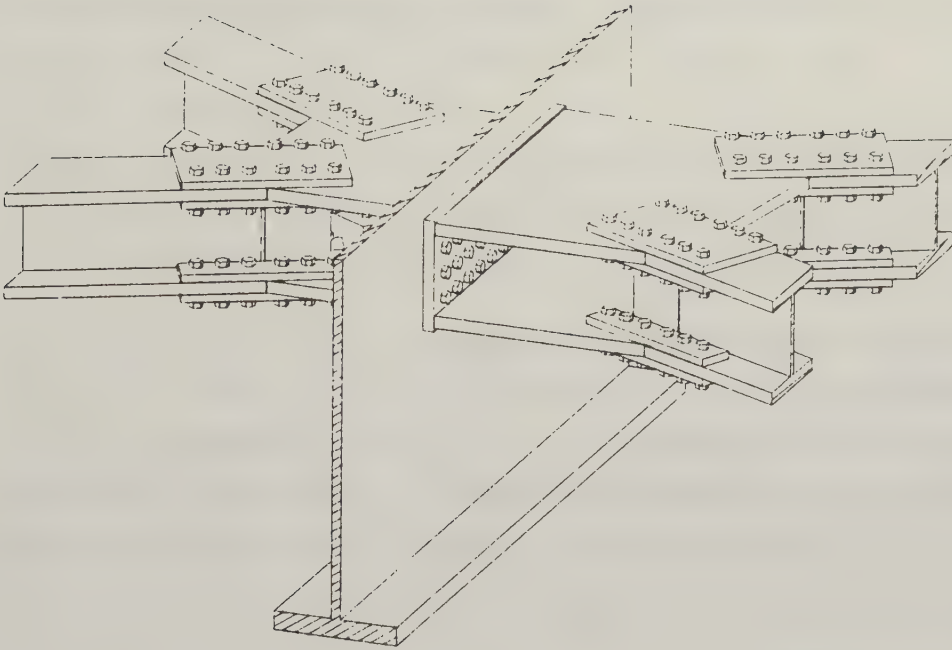


Bild 9.4: Verbandsknoten Typ 2 kombiniert mit Typ 2

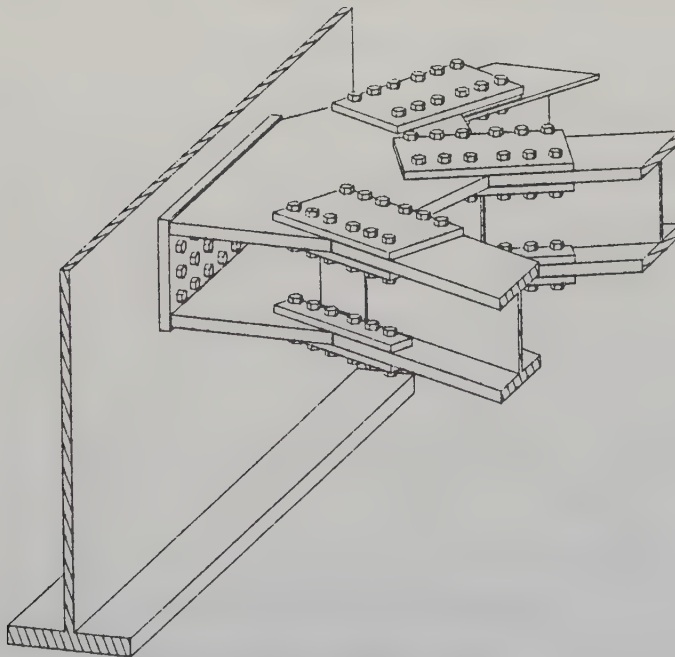


Bild 9.5: Verbandsknoten Typ 3

Basiskonstruktionsvorgänge dieser Konstruktionen sind :

	vorhanden	neu
1. Verwaltung eingegebener Werte	X	
2. Konstruktionsebenennormierung	X	
3. Richtungssortierung	X	
4. Anschlußkantenermittlung	X	
5. Kollisionsuntersuchung Diagonale	X	
6. Längenoptimierung Diagonale		X
7. Verkürzen Diagonale	X	
8. Schraubenverteilung Diagonale	X	
9. Konstruktion einer Außenlasche	X	
10. Konstruktion einer Innenlasche	X	
11. Konstruktion eines Futters	X	
12. Verschraubung Außenlasche-Blech-Futter-Innenlasche	X	
13. Verschraubung Außenlasche-Diagonale-Innenlasche	X	
14. Schraubenverteilung Kopfplatte	X	
15. Schraubenverteilung zum Verbinden der Kopfplatte	X	
16. Verschraubung Kopfplatte-Träger-Kopfplatte	X	
17. Verschraubung Kopfplatte-Träger	X	
18. Konstruktion von Steifen zwischen den Blechen	X	
19. Schweißzuordnung der Teile	X	
20. Rahmenaufruf der Elemente 1-19		X

Auswertung für Typ1:

$N = 12$ Anzahl Anschlußteile
 $F1 = (2/20) = 0.1$ 10 % Neuentwicklung
 $F2 = 1$ = 1 Alle Anschlüsse gleiche Funktion
 $F3 = 2+0**2 = 2$ 2 Anschlußebenen
 $\Rightarrow K = 2$

analog folgt für Typ2 : mit $F1 = 1/20$ $K = 2$
und für Typ3 : mit $F1 = 1/20$ $K = 2$

Daraus ergibt sich nach Bild 9.2 für die drei Knotentypen ein Entwicklungsaufwand von etwa 2 Tagen unter Berücksichtigung der Qualitätssicherungsarbeiten.

Aus der eingegebenen Rohkonstruktion (vergl. Kapitel 2) wird das statische System ermittelt und durchgerechnet /2.3/ (Bild 9.6). Je nach verwandtem Statiksystem sind auch dazu Methoden, aufbauend auf einem Auswertungsbau-
stein, erforderlich, wie in /2.3/ ausführlich erläutert.

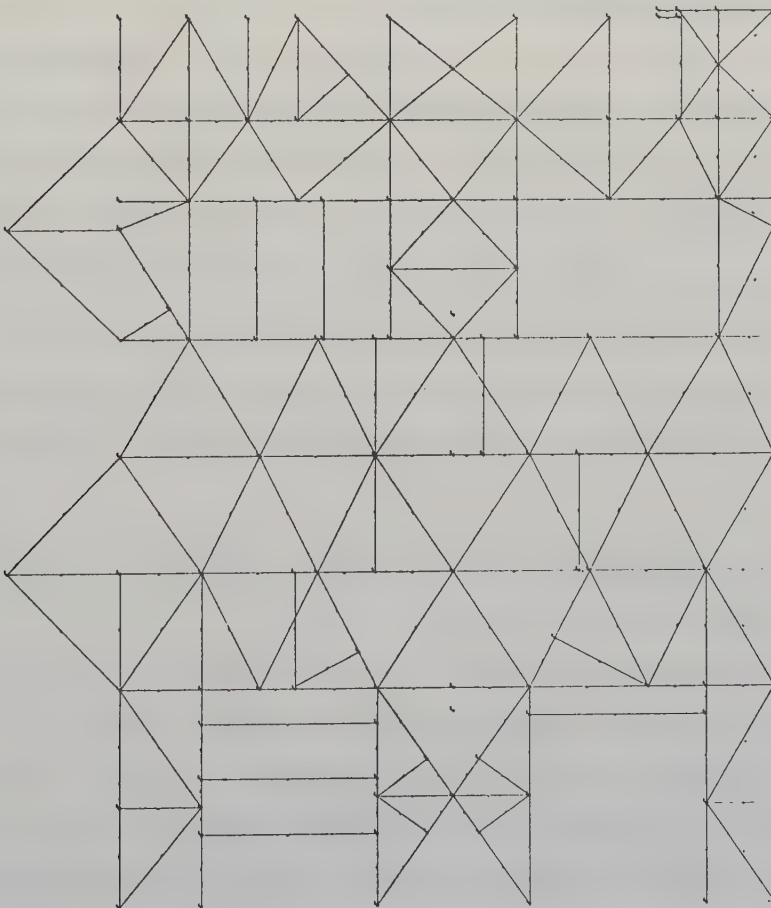


Bild 9.6: Diskretisiertes System /2.3/

Nach der Eingabeformulierung und Detaillierung der Konstruktion sind zusätzlich Methoden notwendig, die die Zeichnungssteuerung übernehmen und die Ergebnisse in der vom Kunden gewünschten Form herausbringen, soweit es sich nicht um einen Zeichnungsstandard handelt. Wird der Zeichnungsstandard akzeptiert, sind nur geringe Anpassungsarbeiten erforderlich.

Auftragsspezifische Methoden können bei systematischer Formulierung allgemein bei vergleichbaren Aufgabenstellungen Verwendung finden. Hierdurch wächst der verfügbare Fundus fertiger Konstruktionslösungen beständig an. Eine Konstruktion weist also, beim zweiten Mal analog angewandt, einen meist deutlich höheren Eignungsgrad auf als in der ersten Anwendung, da der zusätzliche Methodenentwicklungsaufwand entfällt.

Wird in einer Firma in der Einführungsphase nicht das gesamte Auftragsvolumen CAD-unterstützt abgewickelt, sollten zunächst Aufträge mit ähnlichen Konstruktionslösungen bearbeitet werden, um die Vorteile der automatischen Konstruktion zu nutzen und den Fundus vorhandener Lösungen kontinuierlich zu erweitern.

10. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die in der vorliegenden Arbeit dargestellten Techniken, konstruktives Wissen computerorientiert darzustellen, sind durch die Anwendung in der Praxis nachweislich funktionsfähig, obwohl es sich bei dem untersuchten Anwendungsgebiet weitgehend um Forschungsneuland handelt. Durch die Wissensbasen wird das 'Werkzeug' Expertensystem praktisch einsetzbar. Die schnelle effiziente Formulierung von Wissensbasen für neue Anwendungen hängt in erster Linie von dem verwendbaren Fundus an Grundlagemethoden und der Kommunikation mit dem Expertensystem ab. Die geschaffenen Grundlagen müssen in Zukunft erweitert und an die unterschiedlichsten Anwenderbedürfnisse angepaßt werden.

Immer wird es, wenn auch in abnehmender Anzahl, Anwendungssituationen geben, in denen das gespeicherte Wissen zur Problemlösung nicht ausreicht. An dieser Stelle müssen leistungsfähige interaktive Bausteine die Kommunikation des Systems mit den Anwendern vereinfachen. Es müssen Hilfsmittel gefunden werden, die Menge der erzeugten Zeichnungen bei Alternativvorschlägen aufzubereiten, um dem Benutzer Entscheidungshilfen zur Beurteilung zu geben.

Durch die dargestellte Entwicklungssystematik wurde der Entwicklungsaufwand zur Umsetzung anwendungsbezogener Problemstellungen in das System spürbar verringert. Gerade der programmierunerfahrene Benutzer braucht trotz allem zusätzliche Unterstützung bei der Methodenformulierung. Gedacht ist hier an ein dem 'Teach-In' der Robotersteuerung vergleichbares Verfahren zur programmtechnischen Umsetzung der Konstruktionsvorgänge.

BILDVERZEICHNIS	SEITE
Bild 1.1 : Ablaufschema eines Dialogsystems	9
Bild 1.2 : Ablaufschema eines Expertensystems	10
Bild 1.3 : Großkonstruktion Jam-Joom	12
Bild 1.4 : Kanalkonstruktion (Verbindung zweier räumlich angeordneter Ellipsen)	13
Bild 1.5 : Konstruktionsphasen	16
Bild 1.6 : Struktureller Aufbau eines CAD-Exper- tensystems	19
Bild 2.1 : Definition des Grundrasters	22
Bild 2.2 : Definition der Rohkonstruktion	23
Bild 2.3 : Definition der Aufgabenstellung	24
Bild 2.4 : Ergebnisse	24
Bild 2.5 : Vergleich einer konventionellen Bear- beitung mit einer CAD-Bearbeitung mit und ohne Konstruktionsmethodenbank	26
Bild 3.1 : Struktur der Wissensrepräsentation	30
Bild 3.2 : Problemlösungsaufwand in Abhängigkeit von Regeln und Metaregeln	31
Bild 3.3 : Freischnitt einer Anpassungskonstruktion	32

Bild 4.1	: Kostenentwicklung der Fehlerbehebung	36
Bild 5.1	: Explosionszeichnung: Brennkammerteil eines Industrieofens	38
Bild 5.2	: Strukturplan für Wissensbasen von System- bauten	39
Bild 5.3	: Ausschnitt aus der Eingabe zur Konstruk- tion einer Systemhalle	40
Bild 5.4	: Bauteil 'Pfettenwinkel' mit zugeordneten Koordinatensystemen	43
Bild 5.5	: Variation der Teilelage	44
Bild 5.6	: Variation der Profile	45
Bild 5.7	: Variation der Anschlußspezifikation	45
Bild 5.8	: Datenverwaltung über mehrere unabhängige Listen	48
Bild 5.9	: Eingabe mit Ergebnissen	49
Bild 5.10	: Lösungsschema für Normteilkonstruktionen	50
Bild 5.11	: Schiefwinkliger Beiwinkelanschluß	51
Bild 5.12	: Maßermittlung eines schiefen Träger-Trä- ger Anschlusses mit Abkantwinkeln	52
Bild 5.13	: Lösungsschema einer ungestörten Konstruk- tion	53
Bild 5.14	: Schema einer teileorientierten Konstruk- tion	54

Bild 5.15	: Verbindungsmittellorientiertes Anschluß- beispiel: Horizontalverband eines Gitter- mastes	55
Bild 5.16	: Internationales Normenbeispiel 'Kraft- ellipse'	57
Bild 5.17	: Schematischer Ablaufplan einer verbind- ungsmittellorientierten Konstruktion	58
Bild 5.18	: Graphendarstellung des Konstruktionsbei- spiels	59
Bild 5.19	: Kontrolle des Konstruktionsablaufs durch Verteiler	61
Bild 5.20	: Vollständiger Entscheidungsbaum	63
Bild 5.21	: Reduzierter Entscheidungsbaum	63
Bild 5.22	: Verbandsanschluß an zwei Hauptträger	66
Bild 5.23	: Zweiseitig beeinflusste Verteilungsfläche - die Schrauben richten sich nach dem Blech	67
Bild 5.24	: Zweiseitig beeinflusste Verteilungsfläche - das Blech richtet sich nach den Schrau- ben	68
Bild 5.25	: Datenstruktur der Anschlußinformations- verarbeitung	69
Bild 5.26	: Wechselwirkung Kopfplatte - Knotenblech	71
Bild 6.1	: Beispiele von Ausklinkformen	73

Bild 6.2	: Ausklinkvorgang (Normallage)	74
Bild 6.3	: Ausklinken bei Abweichung der Träger aus der Normallage	74
Bild 6.4	: Anschlußkoordinatensystem mit Maßbezug	80
Bild 6.5	: Definition der Trägerebenen	87
Bild 6.6	: Trägerkreuzung	88
Bild 6.7	: Vergleich einer gestörten und ungestör- ten Konstruktion	89
Bild 6.8	: Anwendbarkeit einer Rechteckersatzgeome- trie	90
Bild 6.9	: Ausgangssituation	92
Bild 6.10	: Rechteckverschneidungskörper	93
Bild 6.11	: Ausklinken bei Trägern in unterschied- lichen Ebenen	93
Bild 6.12	: Flächenauswertung für eine Wissensbasis	94
Bild 6.13	: Globale Datenstruktur	96
Bild 6.14	: Koordinatensystemhierarchie	97
Bild 6.15	: Lokale Datenstruktur	98
Bild 6.16	: Auswerten der z-Koordinate zur Sichtbar- keitsentscheidung	100
Bild 6.17	: Hidden-Surface Algorithmus	102

Bild 6.18	: Entstehen und Verarbeitung von Doppelpunkten	103
Bild 6.19	: Übergang von der lokalen in die globale Datenstruktur	104
Bild 7.1	: Sonderkonstruktion	106
Bild 7.2	: Menuefeldausschnitt für interaktives Konstruieren	107
Bild 7.3	: Menuefeld zur Typenkonstruktion nach Franke	109
Bild 7.4	: Kollisionsbereinigung durch nachträgliches interaktives Ausklinken	110
Bild 7.5	: Grobstruktur: Wissensbasis 'Interaktivkonstruktion'	111
Bild 7.6	: Feinstruktur: Konstruktionsverwaltung in der Wissensbasis 'Interaktivkonstruktion'	112
Bild 8.1	: Detaillierungsbeispiele	113
Bild 8.2	: Übersichtszeichnung einer ausgeführten Konstruktion	114
Bild 8.3	: Diagonalentypen	116
Bild 8.4	: Systemaufbau der Verbandsmethoden	118
Bild 8.5	: Knoten mit 6 beteiligten Anschlußrichtungen	119

Bild 8.6	: Unterschiedliche Generierungsrichtungen mit einem Beispiel für ihren Konstruktionseinfluß	120
Bild 8.7	: Beispiel für den Aufbau eines normierten Rechtssystems	121
Bild 8.8	: Anschlußbereiche verbindungsmittelorientiert	122
Bild 8.9	: Vereinheitlichung von Schraubenverteilungen im Anschlußfall 'übergreifende Lasche'	123
Bild 9.1	: Kraftwerksbühne	126
Bild 9.2	: Entwicklungsaufwand	127
Bild 9.3	: Verbandsknotentyp 1 kombiniert mit einem Trägeranschluß	128
Bild 9.4	: Verbandsknotentyp 2 kombiniert mit Typ 2	129
Bild 9.5	: Verbandsknotentyp 3	129
Bild 9.6	: Diskretisiertes System	131

LITERATURVERZEICHNIS

- /1.1/ Roik, K., Pegels, G. : Eine einfache praxisorientierte Angebots- und Entwurfshilfe für mittelständische Stahlbauunternehmen, Architektur- und Ingenieurbüros,
Forschungsbericht MWF des Landes NRW, 1983

- /1.2/ Pegels, G. : Programmsystem Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung im Stahlbau,
Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1975

- /1.3/ Haake, H.-P. : Grundlagen zum dreidimensionalen rechnergestützten Konstruieren im Stahlbau mit Anwendungen,
Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1982
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, TWM Nr. 82-9

- /1.4/ Schlensker, M. : Verfahrensgrundlage des rechnerunterstützten Konstruierens mit Hilfe einer Konstruktions -
- Methodenbank,
Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1982
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, TWM Nr. 82-11

- /1.5/ Falck, M. : Zur rechnergestützten Berechnung und Konstruktion von stählernen Stabtragwerken des Industrie- und Anlagenbaus,
Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1985
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, TWM Nr. 85-4

- /1.6/ Spur, G. : Produktionstechnik im Wandel,
Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 6/1979,

- /1.7/ Porzel, D. : Produktivität durch Informationsverarbeitung. Einführung von CAD/CAM aus der Sicht eines Computerherstellers,
in: VDI-Zeitschrift 6/1984, S. 165-170

- /1.8/ Weber, B. : Modulare Programmierung als ein Konzept zur methodischen Softwareentwicklung in der Strukturmechanik,
Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1981
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, TWM Nr. 81-5
- /1.9/ Boehm, B.-W. Software Engineering Economics,
Prentice Hall Englewood Cliffs, 1981
- /1.10/ Kurbel, K. : Quantitative Aspekte systematischer Entwurfs- und Implementierungsmethoden,
in: Angewandte Informatik 7/1984, S. 268-272
- /1.11/ Schrader, K.-H. : Über die Benutzung problemorientierter Sprachen,
in: Elektronische Datenverarbeitung 8/1968, S. 400
- /1.12/ Dijkstra, E. W. : Notes on Structural Programming
in: Dahl, O.-J., Dijkstra, E. W., Hoare, C. A. R.: Structured Programming,
Academic Press, London, New York, 1972
- /1.13/ Knuth, D. E. : The Art of Computer Programming
Vol 1 Fundamental Algorithms,
Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1972
- /1.14/ Schulz, A. : Methoden des Softwareentwurfes und strukturierte Programmierung,
Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1978
- /1.15/ Rodenacker, W. G. : Methodisches Konstruieren,
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1970
- /1.16/ Schultchen, E. : Rechnergestützte Konstruktion von Stahlskelettbauten,
KFK-CAD 116, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1979

- /1.17/ Zwanzig, W. : Rechnerunterstütztes Konstruieren von
Stahlgeschoßbauten - Ein Beitrag zur Rationalisierung
der Entwurfsarbeit,
Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1974
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, TWM Nr. 74-4

- /1.18/ Nippon Steel - Vortragsunterlagen, Bochum 1986

- /1.19/ Pegels, G. : Erfahrungen mit künstlicher Intelligenz
- Fachwissen im CAD/CAM-System für den Stahl, Holz-
und Anlagenbau,
in: VDI Berichte 570.1, VDI Verlag, Düsseldorf, 1985

- /2.1/ Reimers, K., Pegels, G. : EDV im Stahlbauunternehmen
in: Stahlbau Handbuch - Für Studium und Praxis,
Teil 2, 2. neu bearbeitete Auflage,
Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Köln, 1985

- /2.2/ Kammertöns, U. : Konzeption eines durchgehenden
CAD/CAM-Systems hoher Lebensdauer,
Dissertation in Vorbereitung, Ruhr-Universität Bochum

- /2.3/ Krüner, H. : Wissensbasierte Ermittlung statischer
Systeme aus realen Stahlbaukonstruktionen mit
interaktiver Eingriffsmöglichkeit,
Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1987

- /3.1/ Hayes-Roth, F., Waterman, D. A., Lenat, D. B. :
Building Expert System,
Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1983

- /3.2/ DEC Seminar 'Künstliche Intelligenz', Nürnberg, 1985

- /3.3/ Nilsson, N. J. : Principles of Artificial Intelligence,
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980

- /3.4/ Stracke, H.-J : Methodische Grundlagen für die rechnerunterstützte Bearbeitung von Anpassungskonstruktionen,
Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1981
Institut für Konstruktionstechnik Schriftenreihe 80.2
- /4.1/ Stöhr, A. : Wie das Vertrauen in Programme erhöht werden kann,
Sonderdruck RWTÜV aus Computerwoche 38/1983, S. 16-19
- /4.2/ Schmitz, P., Bons, H. : Software Qualitätssicherung - Testen im Softwarelebenszyklus,
Vieweg, Braunschweig, 1982
- /4.3/ Boyer, R., Moore, J. : The correctness problem in computer science,
Academic Press, London, New York, 1981
- /4.4/ Deutsch, M. : Software Verification and Validation Realistic Project approaches,
Prentice Hall Englewood Cliffs, 1982
- /4.5/ Wirth, W. : Systematisches Programmieren,
B. G. Teubner, Stuttgart, 1972
- /4.6/ Sonnenberg, W. : Konzeptstrukturen für Programmerstellung und -Adaption,
Dissertation TH Karlsruhe, Fakultät für Informatik, 1979
- /4.7/ Sneed, H. : Software-qualitätssicherung für kommerzielle Anwendungssysteme,
Rudolf Müller, Köln, 1983
- /4.8/ Meyers, G. : Methodisches Testen von Programmen,
in: Reihe Datenverarbeitung
R. Oldenbourg, München, Wien, 1982

- /4.9/ Stöhr, A. : Managment und Wirtschaftlichkeit,
VDI-Bildungswerk BW 6010

- /5.1/ Samberg, U. : Eine durchgehende Methodenbank für Bau-
vorlagen, Verlege und Montagepläne mit praktischer
Anwendung in einem Stahlbauunternehmen,
Diplomarbeit Ruhr-Universität Bochum, 1982

- /5.2/ Hodde, O. : Knowledge Engineering - Aufbau einer Kon-
struktionsmethodenbank am Beispiel der Firma WMG,
Diplomarbeit Ruhr-Universität Bochum, 1985

- /5.3/ Frank, H.-J. : Rechnerunterstütztes Detaillieren im
Stahlgeschoßbau als Teil des Rechnerunterstützten -
Ingenieur - Entwurfs,
Dissertation TH Darmstadt, 1978

- /5.4/ Steinhardt, O. u. a. : Verbindungstechnik,
in: Stahlbau Handbuch - Für Studium und Praxis,
Teil 1, 2. neu bearbeitete Auflage
Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Köln, 1982

- /5.5/ Deutscher Stahlbau-Verband DStV (Hrsg.) : Typisierte
Verbindungen im Stahlhochbau,
2. Auflage, Stahlbau-Verlags-GmbH Köln, 1978

- /5.6/ Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau (Hrsg.) :
Stahlbaupraxis C9.1,
Verlag Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau,
Zürich, 1983

- /5.7/ Österreichischer Stahlbauverband (Hrsg.) : Österrei-
chisches Stahlbau-Handbuch Band 1,
Bohmann Druck und Verlag AG, Wien, 1981

- /5.8/ Koch, D., Krüner, H., Pella, A., Samberg, U.:
Handbuch der Wissensbasis für den Stahlbau 'RUBMAK',
BOCAD Software GmbH Selbstverlag

- /5.9/ Meyer, B. : Entwicklung einer Konstruktionsmethoden-
bank - Anwendungsfall Winkelanschlüsse -,
Diplomarbeit Ruhr-Universität Bochum, 1984

- /5.10/ Berztiss, A. T. : Data Structures/Theory and praxis,
Academic Press, London, 1975

- /5.11/ Sauer, S. : Entscheidungstabellen in Theorie und
Praxis,
in: Zeitschrift für Datenverarbeitung 2/1972, S. 99

- /5.12/ Hughes, M.-L., Shank, R.-M., Stein, E.-S. :
Decision Tables,
MC Graw Hill, New York, 1969

- /5.13/ Herman, M.-D.: An Introduction to Decision Logic
Tables,
John Wiley + Sons Inc., New York, 1968

- /5.14/ Horowitz, E., Sahni, S. : Algorithmen - Entwurf und
Analyse,
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1981

- /6.1/ N.N. : Handbuch und Benutzeranweisungen des Konstruk-
tionsprogramms G3,
BOCAD Software GmbH Selbstverlag

- /6.2/ N.N. : Handbuch und Benutzeranweisungen des Interpre-
ters FFEIN7,
BOCAD Software GmbH Selbstverlag

- /6.3/ Harmon P., King D. : Expertensysteme in der Praxis -
Perspektiven, Werkzeuge, Erfahrungen,
R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1986
- /6.4/ N.N. : Benutzeranweisungen INFOPAKET,
BOCAD Software GmbH Selbstverlag
- /6.5/ Spur G., Krause F. L. : CAD - Technik,
Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1984
- /6.6/ Eberlein : CAD - Datenbanksysteme,
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1984
- /6.7/ Blume, Fischer : Datenbanksysteme für CAD-Anwendungen,
KFK-CAD 111, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1978
- /6.8/ Gausemeier, B.-J. : Eine Methode zur rechnerorientier-
ten Darstellung technischer Objekte im Maschinenbau,
Dissertation TU Berlin, 1977
- /6.9/ Flores, S. : Computer Sortiertechnik,
Verlag Berliner Union, 1973
- /6.10/ Wedekind, H. : Datenorganisation,
Walter de Gruyter, Berlin, 1970
- /7.1/ N. N. : Grafisch-interaktives Konstruktionssystem
für den Stahlbau,
BOCAD Software GmbH Selbstverlag, 1986
- /7.2/ Mertens P., Allgeyer K., Däs H., Schuhmann M.:
Betriebliche Expertensysteme in deutschsprachigen
Ländern,
Arbeitsberichte des Instituts für mathematische Ma-
schinen und Datenverarbeitung (Informatik) der Frie-
drich Alexander Universität Erlangen Nürnberg, 1986

- /9.1/ Abramovici, M. : Methodik zur Entwicklung firmenbezogener CAD-Softwarekonzepte,
Produktionstechnik - Berlin, Forschungsberichte für
die Praxis 43, Carl Hanser Verlag München Wien, 1985

L e b e n s l a u f

Geburtsdatum	15. August 1957
Geburtsort	Wanne - Eickel
Schulausbildung	1964 - 1967 Gustav-Adolf-Schule Wanne - Eickel 1967 - 1976 Städtisches Gymnasium Gabelsbergerstraße Herne 2
Studium	WS 1976/77 - WS 1981/82 Ruhr - Universität Bochum Fachrichtung : Bauingenieurwesen Diplomarbeit : Eine durchgehende Methodenbank für Bauvorlagen, Verlege- und Montage- pläne mit praktischer Anwendung in einem Stahlbauunternehmen Graduierung : Diplom - Ingenieur
Berufsausübung	01.03.1982 - 31.03.1987 wissenschaftlicher Mitar- beiter im Bereich Datentechnik der Abteilung Bau- ingenieurwesen der Ruhr - Universität Bochum Forschungsprojekte: CAD-Einsatzmöglichkeiten (1982-85) Konstruktionsgrundlagen für CAD - Expertensysteme im Stahlbau und Anlagenbau (1985-87)

